ISBN 88-397-1205-4

Sped. in A.P. - 45% art.2 comma 20/b legge 662/96 - Filiale di Firenze

ANNO XLIX
NUMERO 3
DICEMBRE 2000
€ 5,16

Rai Eri

# Elettronica e telecomunicazioni

- Schermi piatti: sviluppi e applicazioni
- Valutazione dell'impatto potenziale degli schermi piatti sulla catena di produzione televisiva

- Sistemi di proiezione basati su microspecchi
- Multimedia Home Platform. Uno standard comune per servizi e terminali domestici
- Modelli di valutazione oggettiva della qualità video: risultati delle prove VQEG

**telecomunicazioni**

**Anno XLVIII**
**N°3 Dicembre 2000**

da pag. 1 a pag. 56

**RIVISTA QUADRIMESTRALE A CURA DELLA RAI**

**Direttore responsabile**
Gianfranco Barbieri

**Comitato direttivo**
Maurizio Ardito, Marzio Barbero, Mario Cominetti, Paolo D'Amato

**Redazione**
Marzio Barbero, Gemma Bonino

**Rai Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica**
Corso Giambone, 68 - 10135 Torino, Tel. 011/8103271

**Gestione prodotto**
Rai Editoria Periodica e Libraria
Viale Mazzini, 14 - 00195 Roma

**Distribuzione in edicola**
SODIP "Angelo Patuzzi" S.p.A.
via Bettola 18 - 20092
Cinisello Balsamo, Milano
Tel. 02/660301
Fax 02/66030320

**Gestione abbonamenti e numeri arretrati**
Licosa Via Duca di Calabria, 1/1
50125 Firenze
Tel. 055/645415
Fax 055/6483201

| | | |
|---|---|---|
| Una copia | | € 5,16 |
| | estero | € 8,78 |
| Copia arretrata | | € 10,33 |
| | estero | € 13,94 |
| Abb. annuale | | € 15,49 |
| | estero | € 25,82 |

Versamenti Licosa - Firenze
**ccp.343509**

Spedizione in abb. postale 45%

Reg. alla cancelleria del tribunale c.p. di Torino al n.494 in data 6-11-1951





**Progetto grafico**
Franco De Vecchis

**Stampa**:
Stamperia Artistica Nazionale (Torino)


# Indice

## COMUNICATO AI LETTORI

- A partire dal prossimo numero, **Elettronica e Telecomunicazioni** uscirà in edizione *on-line* e sarà accessibile tramite il sito:

**www.eri.rai.it**

Riteniamo, con tale iniziativa, di poter dare alla rivista una diffusione maggiormente capillare dato il carattere specifico degli argomenti in essa trattati ed il suo orientamento verso un pubblico di lettori dotati in prevalenza di Personal Computer e già abitualmente predisposti ad operare in Internet.

*La Redazione*

# Schermi piatti: sviluppi e applicazioni

**G. Barbieri**

ing. Gianfranco Barbieri – Direttore di Elettronica e Telecomunicazioni – Consulente in Tecnologie e Applicazioni nel campo della Radiodiffusione

Dattiloscritto pervenuto alla Redazione il 13 febbraio 2001

**Alla base della rivoluzione digitale e multimediale che sta investendo il mondo della radiodiffusione vi sono la tecnologia e la straordinaria accelerazione del suo sviluppo sotto la crescente spinta del mercato. Le nuove tecnologie della comunicazione sono più pervasive e trasversali di ogni altra tecnologia e incidono sull'organizzazione dei processi produttivi e dei servizi, consentono di offrire sul mercato prodotti e servizi completamente nuovi. Tutta la filiera radiotelevisiva ne subirà l'impatto; lo schermo, in particolare, non costituirà più soltanto l'anello terminale, ma sarà lo strumento che caratterizzerà la tipologia dei servizi erogati e ne condizionerà la fruizione. L'articolo esamina le ipotizzabili applicazioni alla luce dell'evoluzione in atto nel comparto degli schermi piatti. Vengono discussi, con riferimento ai possibili bacini d'utenza, i fattori economici e le compatibilità del mercato.**

**FLAT SCREENS. DEVELOPMENTS AND APPLICATIONS – The new information technologies and the market forces are the main boost of the digital revolution which is running over the world of broadcasting. They impact on the production processes and make it possible to develop a totally new sorts of services. The whole broadcasting chain will be affected by this revolution and the screen will play a role of paramount importance since it will become the tool which will characterize the various applications and will condition their fruition. The present paper reports a survey of the foreseable applications in the light of of the evolution of the flat screens and makes a number of considerations on pro's and con's of the different solutions with particular respect to the balance between their cost and performance.**

## 1. Considerazioni generali

La convergenza delle tecnologie sta producendo una radicale rivoluzione nel settore dell'audiovisivo ed, in particolare, in quello della radiodiffusione. Il ricevitore domestico evolverà rapidamente verso la struttura tipica del terminale multimediale capace di erogare una varietà di nuovi servizi in associazione o in aggiunta ai programmi convenzionali.

L'architettura hardware del ricevitore sarà sempre maggiormente ispirata alla tecnologia dei computer e, in tale contesto, il display a schermo piatto per le sue caratteristiche di maneggevolezza e portabilità è destinato ad avere un ruolo di primaria importanza.

L'influenza dei contenuti nella fruizione dei servizi da parte dell'utenza è un fattore da tenere in debita considerazione. I parametri tecnici della televisione convenzionale erano stati a suo tempo individuati con riferimento al contesto ambientale in cui i programmi televisivi erano normalmente visualizzati; se a comporre il programma concorrono elementi multimediali è probabile che il modello di fruizione debba essere riesaminato.

Vari fattori potrebbero avere una rilevante influenza nel determinare un cambiamento nelle condizioni di visione e nella percezione soggettiva della qualità; tra questi non vanno trascurati la crescente abitudine dell'utente alla visione ravvicinata dello schermo del computer, i requisiti di leggibilità dei caratteri del contenuto multimediale, le dimensioni meno sporgenti degli schermi piatti e, non ultime, le aspettative in termini di qualità dell'immagine da parte di osservatori sempre più abituati alla qualità delle immagini osservate nelle applicazioni dei computer.

## 2. Stato dell'arte. Disamina dei prodotti in via di sviluppo

Negli anni più recenti sono stati compiuti notevoli progressi nello sviluppo degli schermi piatti e lo stato dell'arte è in continua evoluzione.

### 2.1 Schermi di grandi dimensioni

In questa categoria si annoverano prodotti di dimensioni variabili tra i 40" ed i 60". Le tecnologie impiegate sono prevalentemente di due tipi:

- PDP (*Plasma Panel Display*)
- A retroproiezione

Gli schermi a retroproiezione stanno attualmente riscuotendo un discreto successo negli

**Tabella 1**
**Principali caratteristiche di alcuni prodotti presenti sul mercato**

| | Dimensioni | Risoluzione (pixels) | Luminanza [cd/m²] | Consumo [W] | Peso [kg] | Prezzo [Euro] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| PDP | 32"-42" | 852x480 a 1024x1024 | 470-650 | 280-480 | 29-31,5 | >11.500 |
| PDP | 50"-60" | 1366x768 | 450-500 | Dato non disponibile | 75 | Prototipi |
| TFT | 15"-17" | 1024x760 a 1600x1024 | 200-250 | <30 | 2,1-3,6 | 1000 a 2500 |
| TFT | 21"-24" | 1600x1200 a 1920x1200 | 200x230 | 40-60 | 4-6 | Dato non disponibile |

Stati Uniti, in quelle aree geografiche ove la tensione abitativa non è tale da creare eccessivi problemi di spazio. Lo schermo a retroproiezione (specie se di grandi dimensioni) è caratterizzato infatti da un non indifferente ingombro in profondità. In Europa la diffusione è invece limitata ad un mercato di nicchia.

La tecnologia a Plasma è considerata ad oggi la soluzione ottimale per la realizzazione di schermi di grandi dimensioni e l'industria si sta impegnando con l'obiettivo di migliorarne le prestazioni e minimizzare gli inconvenienti che ne frenano la penetrazione. Va osservato, per la verità, che recenti sviluppi nel campo delle tecnologie a microspecchi (argomento di un articolo in questo stesso numero) lasciano prevedere la possibilità di soluzioni alternative.

In tabella 1 sono riportate le principali caratteristiche di alcuni dei prodotti attualmente disponibili o in via di sviluppo. Dall'esame della tabella emergono immediatamente pregi e difetti di questa tecnologia.

Tra i pregi, merita una particolare menzione la elevata *luminosità* che rende l'apparato competitivo con i tradizionali schermi a raggi catodici.
Suscita ancora perplessità il ridotto valore del *contrasto;* tale limitazione è causata dall' imperfetto ottenimento del livello del nero dovuto ad un non sufficiente spegnimento delle microcelle al cessare dell'eccitazione del plasma. Negli esemplari più recenti sono tuttavia stati raggiunti livelli ampiamente soddisfacenti e pertanto il problema è da ritenersi in via di soluzione.

Permangono alcune gravi limitazioni che, essendo intrinseche alla tecnologia impiegata, non lasciano prevedere significativi margini di miglioramento:

- il peso
- l'assorbimento di energia elettrica
- l'elevato costo

Circa il costo è in corso un vivace dibattito a livello di industrie costruttrici. Attualmente il prezzo di uno schermo da 42" si aggira sui 10000 $; le proiezioni basate sulle previsioni di una significativa penetrazione del mercato accennano a valori di 3000-4000 $, valori pur sempre elevati per una utenza di massa.

Tenuto conto di quanto sopra, lo schermo a Plasma sembra invece delinearsi come il dispositivo ideale per applicazioni professionali quali le presentazioni di sequenze di immagini in sale riunione, scuole, uffici ed in genere in tutte quelle circostanze in cui le condizioni ambientali richiedono una elevata luminosità dello schermo: luoghi frequentati dal pubblico (stazioni, aeroporti, sale di intrattenimento), tabelloni pubblicitari, mostre, centri congressi, ecc.

### 2.2 Schermi di medie dimensioni

Rientrano in questa categoria prodotti di dimensioni variabili tra i 20" e i 33."

In questa gamma la tecnologia più promettente sembra essere quella basata sugli LCD a matrice attiva TFT (*Thin Film Transistor*) già ampiamente utilizzata nei Personal Computer portatili.







Nella citata tabella 1 sono evidenziate le specifiche dei modelli più rappresentativi dello stato dell'arte.
A confronto con gli schermi a Plasma, si notano immediatamente: l'elevata risoluzione, il peso e l'assorbimento inferiori di circa un ordine di grandezza
Circa i costi, i livelli attuali non possono ancora essere considerati adeguati per un consumo di massa tuttavia non è da sottovalutare la considerazione seguente: gli schermi piatti a matrice attiva sono stati sviluppati e vengono commercializzati soprattutto in funzione di un loro utilizzo in ambiente informatico; il trend dei costi dovrebbe pertanto seguire all'incirca lo stesso andamento di quello della componentistica per personal computer. Se la cosiddetta Legge di Moore continuerà ad essere verificata nel prossimo futuro c'è da prevedere un dimezzamento dei costi, a parità di prestazioni, ogni circa 18 mesi; ciò significa, in pratica, che nell'arco di qualche anno schermi TFT da 22"-25" ad elevata risoluzione saranno alla portata del mercato "grande pubblico".

### 2.3 Schermi di piccole dimensioni

Un excursus sugli sviluppi in atto nel campo degli schermi piatti non può prescindere da questa categoria di dispositivi che sono sempre più frequentemente impiegati in apparati di largo consumo. La tecnologia adottata è ancora di tipo TFT-LCD; le applicazioni spaziano dall'elettronica militare a quella industriale per penetrare oggi sistematicamente negli elettrodomestici. Dal 2002 entrerà in funzione in Italia il sistema UMTS.

In figura 1 sono sintetizzati alcuni dei servizi che già oggi vedono protagonista il piccolo schermo a cristalli liquidi.

## 3. Considerazioni sui trend di sviluppo degli schermi

Sulla scorta delle considerazioni svolte nei paragrafi precedenti è ipotizzabile un duplice trend di sviluppo dei display a schermo piatto. La relazione tra dimensioni dello schermo e risoluzione è illustrata in figura 2.
È opportuno osservare che spesso si tende ad associare il concetto di alta risoluzione con quello della visualizzazione su grande schermo. Non va dimenticato che, oltre alla risoluzione, altri parametri, tra cui il contrasto, sono determinanti nel contribuire a rendere gradevole l'immagine. Studi specifici hanno confermato che la TV ad Alta Definizione viene apprezzata in rapporto alle sue potenzialità solo con elevati valori di contrasto [1].

Fig. 1 - Servizi fruibili su schermi di piccole dimensioni.

Fig. 2 - Trend di sviluppo degli schermi piatti.

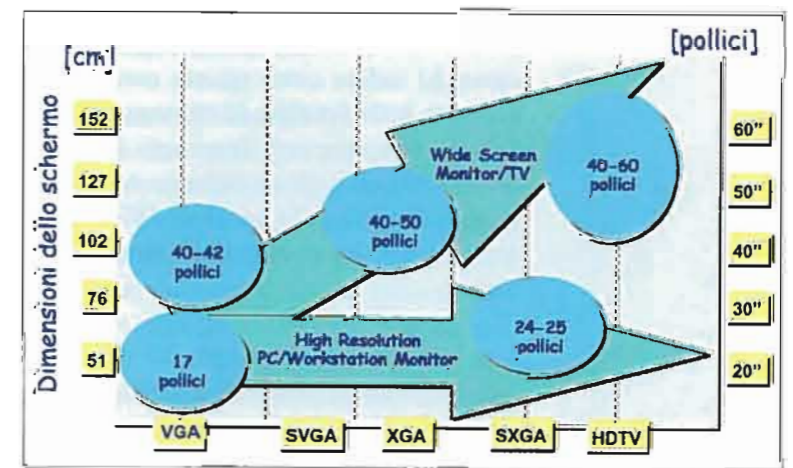
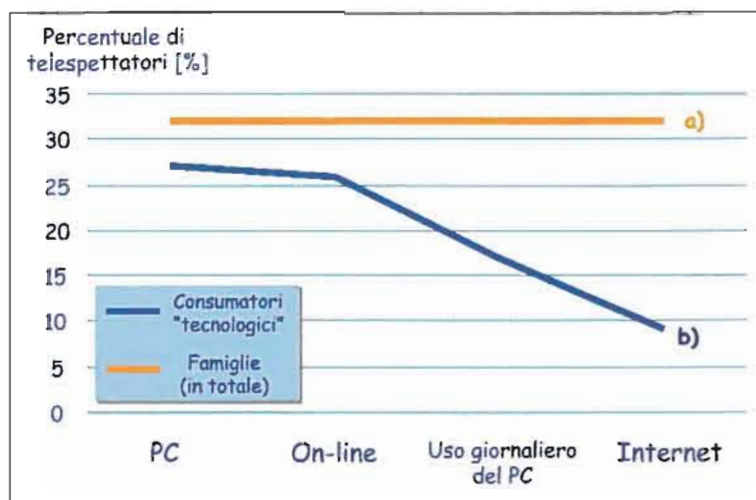



**Fig. 3 - Penetrazione di Internet negli Stati Uniti.**

Una considerazione a parte merita inoltre lo sviluppo degli schermi in rapporto all'evoluzione dei servizi. Giova a questo proposito evidenziare la già citata TV digitale con tutto il corollario di opportunità di "*business*" da essa offerto e l'impatto di Internet con relativi servizi accessori.
È opinione generalmente condivisa che Internet contribuirà in modo radicale a mutare il quadro di fruizione dei servizi di intrattenimento domestico.
Il grafico di figura 3 è tratto da un rapporto dello Yankee Group e si riferisce ad una indagine svolta negli Stati Uniti.
La curva a) riporta la percentuale di utenti caratterizzabili come utenti assidui, in altre parole quelli che seguono i programmi televisivi per sei o più ore al giorno. La curva b) indica come questa percentuale decresce nelle famiglie in cui vengono utilizzati computer ed Internet; come si osserva la curva stessa decresce col passare da semplici utilizzatori di PC fino ad arrivare ove Internet è usato quotidianamente.

Una serie di analoghe indagini effettuate recentemente in Italia nell'ambito di famiglie di media cultura confermano la suddetta tendenza; in particolare:

- gli utenti che utilizzano il computer e che, in particolare, si dedicano ad Internet trascorrono meno tempo davanti al televisore.
- cresce il numero di utenti che privilegiano Internet per le news, l'informazione e altro contenuto a carattere di intrattenimento.

Secondo una più recente ricerca effettuata dalla Università Bocconi sull'uso del PC nelle famiglie italiane, il 32,7% di 22 milioni di famiglie dispone di almeno un personal computer e si è verificata una accelerazione della crescita nell'ultimo anno. Dato essenziale della ricerca è che la spinta all'acquisto del PC sembra essere sempre più legato all'uso di Internet. La connessione è oggi operativa sul 70% dei PC domestici, il dato registrato alla fine del '99 era pari al 57,3%.

## 4. L'evoluzione dei servizi

La rivoluzione digitale offre nuove prospettive di sviluppo dei servizi a radiodiffusori, gestori di reti e industria *consumer* in un mercato trainato dalla convergenza tra Radiodiffusione, Telecom e Informatica.

È opinione diffusa che, con buona probabilità, i primi ricevitori di costo contenuto per TV digitale saranno di fatto dei Personal Computers piuttosto che televisori di architettura convenzionale. Molta della capacità di elaborazione necessaria per sviluppare le potenzialità del nuovo sistema digitale è infatti già intrinseca ai PC delle ultime generazioni.

Le applicazioni multimediali costituiscono la soluzione globale alla crescente richiesta di una molteplicità di servizi generalistici o tematici, gratuiti o a pagamento; aprono la strada alla TV interattiva, l'accesso ad Internet e, in prospettiva, alla TV ad alta







risoluzione. Questo livello di flessibilità è reso possibile dall'adozione della Piattaforma Multimediale Domestica (MHP – *Multimedia Home Platform*) che costituirà il cuore dei ricevitori di TV digitale della prossima generazione. La figura 4 illustra il livello di integrazione dei futuri servizi digitali attraverso la MHP.

## 5. Tipologie dei servizi che saranno verosimilmente distribuiti nel prossimo futuro.

L'elenco che segue, anche se non esaustivo, ha lo scopo di evidenziare una gamma di servizi che la convergenza delle tecnologie renderà ipotizzabili nel quadro della piattaforma multimediale domestica:

- Programmi TV convenzionali.
  Per alcuni anni i servizi analogici (PAL/SECAM) coesisteranno con quelli digitali. La competizione con i prodotti off-line (DVD, *Home Theatre*) farà probabilmente crescere la richiesta di una migliore qualità dell'immagine; nonostante ciò, il decollo della TV ad Alta Definizione (intesa come servizio) rimane materia incerta.

- Canali tematici.
  Le condizioni di visualizzazione potranno essere influenzate dai contenuti del programma. Sport, Musica ed Intrattenimento potrebbero stimolare l'acquisto di schermi medio/grandi. Canali di tipo Educational potrebbero invece avere dei contenuti meno critici e pertanto requisiti meno severi dal punto di vista qualitativo.

- Servizi multimediali convertiti in programmi TV convenzionali.
  Nei palinsesti di alcune emittenti esistono programmi ottenuti utilizzando servizi multimediali confezionati per una distribuzione on-line e contemporaneamente codificati in PAL per essere trasmessi nel canale di radiodiffusione convenzionale.
  Gli investimenti necessari per la produzione e la conseguente esigenza di ottimizzazione dei costi renderanno probabilmente più consueta questa prassi.

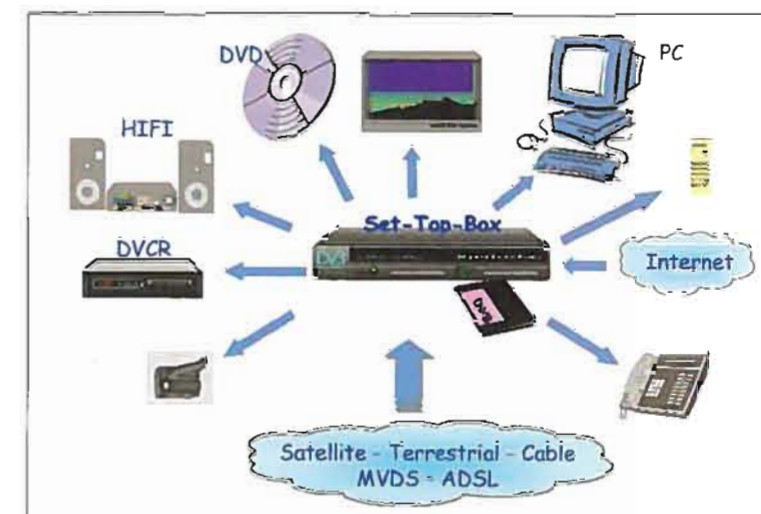



**Fig. 4 - La piattaforma Multimediale Domestica (MHP).**

- Programmi convenzionali con associate applicazioni multimediali.
  Le applicazioni multimediali possono essere generate localmente (ad es. *Applets Java*) oppure scaricate attraverso un flusso di dati parallelo incorporato nel canale principale. Gli oggetti destinati ad essere visualizzati possono comprendere grafica, testi, numeri, semitrasparenze, finestre, ecc.

- Programmi TV Interattivi.
  Il ricevitore televisivo può essere equipaggiato con un canale di ritorno (ad es. via linea telefonica) verso un Centro di servizi multimediali. I servizi possono spaziare dai programmi televisivi al commercio elettronico all'*home-banking*, ecc.

- Servizi distribuiti via Internet.
  Questa costituisce la più radicale evoluzione del terminale domestico, essendo

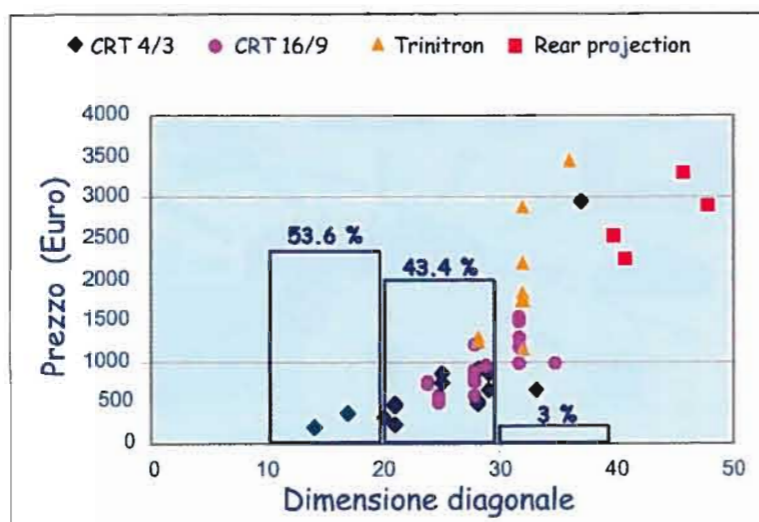



**Fig. 5 - Prezzi al consumo e percentuali di vendite.**

la sua architettura totalmente trainata dalla tecnologia del Personal Computer. La risoluzione dello schermo tende a crescere da 800x600 pixels a 1024x768 pixels.

## 6. L'ambiente domestico

Con riferimento alle tipologie di servizi indicate nei paragrafi precedenti ed alla loro fruizione, l'ambiente domestico tende a divenire maggiormente diversificato. È possibile tentare di classificare l'utenza sulla base di due scenari differenti.

Sport, intrattenimento ed, in genere, gran parte dei programmi di tipo convenzionale sono di consueto visti da più persone sedute nello stesso locale e possono trarre beneficio da un aumento delle dimensioni dello schermo (e possibilmente da un ambiente che simuli in qualche misura la sala cinematografica)

I servizi di natura multimediale, al contrario, erogano solitamente dei contenuti maggiormente orientati all'informatica e pertanto sono più adatti ad una fruizione individuale. Le dimensioni dello schermo sono, in tal caso, meno influenti mentre altri parametri, quali la risoluzione e la qualità dell'immagine, sono caratterizzati da una maggior criticità.

L'abitazione tipica del prossimo futuro sarà presumibilmente dotata di uno schermo di discrete dimensioni, collocato ad esempio nel soggiorno, e di un certo numero di schermi di dimensioni medie e piccole dislocati nei vari ambienti eventualmente connessi attraverso una rete domestica.

## 7. Considerazioni sui costi

Nel formulare ipotesi circa la diffusione presso l'utenza domestica dei display a schermo piatto occorre tener conto in prima istanza dei costi di acquisto e di esercizio di tali dispositivi.

Per inquadrare i suddetti costi nel contesto di mercato dei prodotti *consumer* è utile far riferimento alla figura 5, nella quale sono riportati i prezzi al consumo di alcune classi di ricevitori televisivi di tipo convenzionale in funzione delle dimensioni dello schermo. Nella stessa figura è indicata la percentuale delle vendite in funzione delle stesse dimensioni e, conseguentemente, del prezzo (la statistica si riferisce alle vendite effettuate in Italia nel 1999). È immediato constatare che per schermi di dimensioni superiori ai 30" le vendite si rivolgono unicamente ad un mercato di nicchia.

## 8. Considerazioni sui formati di scansione

I formati di scansione in produzione, in trasmissione e nel display d'utente sono indipendenti uno dall'altro e pertanto è probabile che in futuro formati diversi possano coesistere. Analogamente a quanto avviene nei computers dei quali si puó variare la configurazione operando sul software, è ipotizzabile che una certa gamma di formati di scansione possa essere controllata via software e installata nel terminale domestico attraverso una serie di "*plug-ins*" realizzati in software.

Il formato di scansione potrebbe, tuttavia, dare luogo a problemi di compatibilità tra applicazioni diverse. Alcune categorie di schermi piatti sono realizzati nel formato panoramico 16:9 mentre quelli sviluppati per essere associati ai computer operano nel formato 4:3 (1024x768, 640x480). L'accomodamento di un'immagine 16:9 su uno schermo 4:3 ne compromette in parte le prestazioni per quanto attiene alla qualità; data l'architettura reticolare dei display piatti e la struttura digitale dell'immagine è infatti necessario procedere ad un ricampionamento dell'immagine stessa con interpolazione e postprocessamento che comportano un inevitabile aggravio dei costi. Inoltre, poiché viene utilizzata solo una porzione dello schermo, si deve rinunciare ad una percentuale significativa di energia luminosa e di risoluzione disponibili.

## 9. Conclusioni

La TV digitale rappresenta la soluzione globale alla richiesta di nuovi e più diversificati servizi.

I display a schermo piatto costituiscono un fattore di innovazione nel panorama evolutivo degli apparati per l'utenza domestica e eserciteranno un ruolo determinante nell'introduzione dei nuovi servizi multimediali. Le tecnologie su cui sono basati sono oggetto di costante miglioramento da parte dei costruttori; sussistono ancora, tuttavia, alcune limitazioni che potrebbero ritardarne la penetrazione presso la grande utenza.

I requisiti che debbono essere soddisfatti consistono sostanzialmente in:

- costo, consumo di energia, efficienza luminosa e contrasto paragonabili a quelli dei cinescopi a raggi catodici
- elevata risoluzione
- medie dimensioni
- rapporto dimensionale 16/9

Il costo, in particolare, costituisce un fattore di grande criticità nel determinare gli sviluppi del mercato.

Per gli schermi di maggiori dimensioni se ne può ipotizzare l'impiego preferibilmente in applicazioni professionali.

In uno scenario a medio termine è invece prevedibile una progressiva diffusione di schermi di medie dimensioni a tecnologia TFT al cui sviluppo farà da volano l'evoluzione dei personal computer e delle applicazioni Internet. I display attualmente in via di commercializzazione nel mercato dei personal computers tendono a divenire competitivi con gli attuali schermi a tecnologia CRT; la risoluzione in continuo miglioramento consente la visualizzazione ad elevata qualità delle "finestre" e degli "oggetti" (grafica e dati) che compongono l'interfaccia dei vari servizi.

**Bibliografia**

1 - M. Ardito, *Distanza di osservazione preferita per programmi HDTV*, Elettronica e Telecomunicazioni, pp. 86-92, n. 3, 1994

# Valutazione dell'impatto potenziale degli schermi piatti sulla catena di produzione televisiva

**Marzio Barbero**

ing. Marzio Barbero, Rai - Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica - Torino. Dattiloscritto pervenuto alla Redazione il 30 marzo 2001

**Vengono brevemente descritti alcuni test su schermi piatti (PDP) organizzati dall'UER e svolti nell'ottobre 2000 presso il Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica della Rai. Lo scopo dei test era fornire una prima risposta al seguente interrogativo: "nell'ipotesi che gli schermi piatti diventino il sistema di visualizzazione dominante in ambiente domestico, sono necessari cambiamenti nell'ambiente di produzione e diffusione televisiva?".**

**EVALUATION OF THE POTENTIAL IMPACT OF FLAT PANEL DISPLAYS ON THE BROADCAST PRODUCTION CHAIN - A few tests carried out on Plasma Display Panels (PDP) are briefly described. The tests were organized by EBU and carried out at the Centre for Research and Technological Innovation of Rai. The objective of these tests was to begin to answer the following question: "given that the flat panel displays may become the dominant home display system, are changes in the production and delivery environment needed?".**

## 1. Introduzione

L'UER (Unione Europea di Radiodiffusione) decise nel 1999 di valutare l'impatto sulla catena di produzione e trasmissione televisiva della probabile diffusione in ambito domestico di nuovi tipi di display, in particolari di schermi piatti di ampie dimensioni.
È probabile che gli schermi piatti possano rappresentare una porzione significativa delle vendite per i sistemi di ricezione televisiva con grande schermo, nel momento in cui il prezzo divenga comparabile con quello dei CRT di ampie dimensioni e dei sistemi a proiezione. Il gruppo UER (di cui facevano parte BBC, IRT, ITC, RAI) ritenne che tale possibilità si sarebbe potuta prospettare in tempi dell'ordine di cinque anni.

Sulla base di tali premesse nell'autunno del 2000 (e precisamente dal 9 al 13 ottobre) si tenne a Torino, presso il Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica della Rai, una sessione di valutazione utilizzando apparati resi disponibili grazie alla collaborazione dei produttori di schermi piatti (Fujitsu, JVC, Panasonic, Philips, Pioneer, Sony).

Lo scopo fondamentale dei test era rispondere alla domanda: "la possibile diffusione nelle case degli utenti di schermi piatti di ampie dimensioni può comportare la necessità di modificare le condizioni di produzione e/o diffusione del segnale televisivo?"

## 2. Organizzazione dei test

Obiettivo principale dei test era la visualizzazione sui diversi schermi piatti (PDP o Plasma Display Panel) di sequenze (riprese da telecamera o materiale di test) aventi lo stesso contenuto e prodotte nelle stesse condizioni, ma in differenti formati video.
In particolare furono appositamente registrate presso il Centro Produzione Rai di Torino (figura 1) sequenze nei seguenti formati:

- 625 righe interlacciate, frequenza di semiquadro 50 Hz (Rac. ITU-R BT 601)
- 576 righe progressive, frequenza di quadro 25 Hz
- 720 righe progressive, frequenza di quadro 60 Hz
- 1080 righe interlacciate, frequenza di semiquadro 60 Hz

Il primo di questi formati è quello normalmente usato per le trasmissioni nei paesi europei. Gli altri sono formati ad alta definizione.
I segnali furono sottoposti a diversi tipi di *postprocessing*, quali registrazione in cascata mediante videoregistratore con compressione a 50 Mbps, *frame doubler* (per convertire il materiale a 576 righe/25 Hz a 50 Hz), *down-converter* (per convertire il materiale a 1080 righe al formato video convenzionale). Inoltre erano disponibili materiale codificato PAL, codificato MPEG-2 a 4 Mbps e sequenze ottenute a partire da DVD. La figura 2 riassume la configurazione e i formati adottati per i test.

Fig. 1 - Schema della configurazione per la ripresa presso il Centro di Produzione di Torino. Oltre al PDP, i fabbricanti (Philips, Panasonic, Sony, JVC) hanno messo a disposizione telecamere ed altri apparati necessari per le varie fasi di acquisizione delle sequenze e di test.

Alcune sequenze di test sono state riprese a partire da immagini di test (per valutare la resa colorimetrica dei display e la linearità dei grigi) oppure da stampe di alta qualità in modo da ottenere strutture caratterizzate da elevato dettaglio soggette a movimenti rotatori o traslatori a varie velocità (in figura 3 è riportato un quadro video per ciascuna sequenza). Altre sequenze sono state ottenute in studio e sono caratterizzate dalla presenza di persone e oggetti scelti per la varietà di dettaglio e colori (figura 4).

## 3. Gli schermi PDP

I fabbricanti che hanno collaborato ai test hanno fornito gli schermi le cui caratteristiche principali sono riportate in tabella 1, alcuni di essi erano a livello prototipale oppure non ancora disponibili sul mercato. Alcuni produttori hanno fornito due differenti tipi di PDP.
Due tipi PDP sono caratterizzati da una dimensione diagonale pari a 50", i restanti di 42". Nel corso dei test i PDP sono stati alimentati utilizzando distributori video con uscita analogica R,G,B e HDTV. Solo lo schermo identificato come 9 nella tabella 1

Fig. 2 - Schema della configurazione per i test presso il Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica.

**Fig. 3 - Le sequenze "artificiali" usate nel corso dei test.**

era dotato di ingresso digitale (SDI, Serial Digital Interface), oltre che analogico. Tutti i PDP erano in grado di visualizzare, oltre al segnale video interlacciato conforme allo standard BT 601, anche quelli progressivi a 576 righe, 50 Hz e 720 righe, 60 Hz. Solo uno era in grado di visualizzare segnali interlacciati a 1080 righe, 50 Hz.
Non è stata attuata nessuna procedura specifica per allineare i PDP, poiché non definite o suggerite dai produttori.

## 4. Test, commenti e opinioni

Ai test hanno partecipato più di 20 esperti tecnici provenienti da 9 differenti organizzazioni di 5 diversi paesi; molti degli esperti partecipanti hanno un'esperienza specifica nella valutazione della qualità del segnale video. I partecipanti hanno valutato la qualità a differenti distanze di visione (liberi di osservare da distanza ravvicinata, variabile fino al massimo di 6 metri) e hanno espresso opinioni che sono state raccolte in un documento del Comitato PMC presentato alla Assemblea Tecnica dell'UER nel marzo 2001.

**Fig. 4 - Le riprese a "studio" con persone e oggetti "critici".**

Fra le molte opinioni raccolte, a carattere strettamente tecnico e molto puntuali, le seguenti possono essere ritenute di interesse più generale:

- Sono state osservate notevoli differenze in termini di gamma, colorimetria e geometria in tutti i PDP disponibili in commercio, anche fra quelli con caratteristiche comuni quali diagonale pari a 42", immagine di 854 punti per riga e 480 righe e *aspect ratio* pari a 16/9.
- I fabbricanti hanno adottato il sistema di pre-elaborazione del segnale che ritengono più favorevole per il successo commerciale del prodotto. Ciò ha portato a compromessi fra rumore, risoluzione, linearità... Tali compromessi originano livelli di qualità percepita differenti, non necessariamente ottimali per tutti i tipi di applicazione (multimedia diffusivo, multimedia on-line, multimedia locale) e in particolare per la fruizione dei programmi televisivi convenzionali.
- È possibile che fattori quali la dimensione, la luminosità, il contrasto e il gamma rendano più visibili, rispetto a quanto avviene nel caso di schermi CRT, artefatti e rumore presenti nel segnale sorgente.
- Nel caso in cui il segnale sorgente sia ottenuto direttamente da quello digitale, nel formato BT 601, la qualità percepita è stata considerata molto buona: se erano visibili difetti, questi sembrano imputabili ai sistemi di visualizzazione (in particolare alla pre-elaborazione del segnale video), non ai limiti insiti nel formato di produzione televisivo.
- Nel caso di segnali codificati PAL, la qualità percepita non è elevata, a distanze di visione brevi o medie.







**Tabella 1**
**Caratteristiche dei PDP utilizzati nei test**

| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Dimensioni (diagonale in pollici) | | 42" | 42" | 42" | 42" | 42" | 50" | 42" | 50" | 42" |
| Numero di pixel | orizzontale | 852 | 1024 | 853 | 853 | 852 | 1366 | 852 | 1280 | 1024 |
| | verticale | 480 | 1024 | 480 | 480 | 480 | 768 | 480 | 768 | 1024 |
| Pixel pitch (mm) | orizzontale | 1,08 | 0,9 | | | | | | 0,858 | 0,9 |
| | verticale | 1,08 | 0,51 | | | | | | 0,808 | 0,51 |
| Luminosità [Cd/m2] | il solo pannello | 400 | 450 | 400 | 520 | 650 | >500 | | 560 | |
| | l'intero schermo | | | 240 | 320 | 400 | | | | |
| Contrasto | | 580:1 | 300:1 | 500:1 | 750:1 | 3000:1 | >2000:1 | | 560:1 | |
| Colori (milioni) | | 16,77 | 16,77 | 16,77 | 16,77 | 16,77 | 16,77 | | 16,77 | 16,77 |
| Potenza [W] | | 390 | | 483 | 320 | 295 | | | 470 | 400 |
| Peso [kg] | | 31,5 | | 36 | 38 | 29,5 | 40 | | 40,3 | 45 |
| Angolo di visione [°] | | 160 | 160 | | 160 | | 160 | | | 160 |

**Nota:** poiché i test non si proponevano un confronto fra i diversi pannelli al plasma, non sono indicati in tabella fabbricanti e modelli. I valori mancanti non erano disponibili sulle "caratteristiche tecniche" fornite dal costruttori. Alcuni modelli erano in una versione preliminare, non ancora disponibile in commercio.

- Analoga considerazione vale per segnali codificati MPEG-2 a 4 Mbps.
- La qualità percepita nel caso di segnali provenienti da DVD è in certi casi molto buona. La codifica utilizzata è anche in questo caso MPEG-2, a bit-rate variabile (il materiale più critico viene codificato a un bit-rate superiore a quello medio) e si procede a ottimizzazioni per massimizzare la qualità, normalmente non attuabili nel caso di codifica in tempo reale. I film disponibili su DVD sono in genere realizzati per avere impatto sullo spettatore e la visione sui PDP sembra favorire la sensazione di coinvolgimento, caratteristica principale per l'*home theatre.*

Questa prima serie di valutazioni sull'impatto che la probabile diffusione futura di schermi piatti di ampie dimensioni in ambito domestico può avere sulla catena di produzione e diffusione televisiva ha quindi evidenziato che il formato televisivo digitale utilizzato in produzione e postproduzione è in grado di garantire la qualità attesa. D'altro canto, i formati di diffusione attualmente adottati (codifica analogica PAL o codifica digitale in tempo reale con compressione MPEG-2 a bit rate ridotto, cioè dell'ordine di 4 Mbps) non forniscono una qualità percepita paragonabile ad altri mezzi di distribuzione, quali i DVD di buona qualità, che presentano un crescente tasso di penetrazione sul mercato dell'*entertainment.*

**Ringraziamenti**
Ringrazio Maurizio Ardito, presidente del Comitato PMC dell'UER, che mi ha dato l'opportunità di seguire alcune delle fasi organizzative e finali dei test descritti, e i colleghi del Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica e del Centro Produzione della Rai di Torino che hanno partecipato attivamente alla realizzazione dei test e fornito il materiale su cui è basato il presente articolo.

# Sistemi a proiezione basati su microspecchi

**Marzio Barbero, Natasha Shpuza**

ing. Marzio Barbero, Rai – Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica – Torino,
ing. Natasha Shpuza, RTSH Radio Television Shqiptar

Dattiloscritto pervenuto alla Redazione il 18 aprile 2001

**I dispositivi microelettromeccanici noti come microspecchi sono alla base di sistemi per la proiezione di immagini (proiettori frontali e retroproiettori). Gli apparati disponibili commercialmente hanno applicazione in campo business e entertainment. I sistemi a retroproiezione sono caratterizzati da versatilità (consentono la visualizzazione di segnali digitali, video e da computer, a definizione normale e ad alta definizione) e elevata qualità dell'immagine, ma il costo è tuttora elevato e ciò limita la penetrazione nel mercato televisivo domestico. L'articolo è basato sulla letteratura tecnica e sulle informazioni commerciali disponibili su web.**

## 1. Introduzione

Nel 1987 venne inventato il DMD™ (*Digital Micromirror Device*)([1]): il dispositivo microspecchio digitale è alla base dei sistemi DLP™ (*Digital Light Processing*)([1]). Nel 1991 venne avviato il progetto per la realizzazione di prodotti basati su tale tecnologia ed il primo di tali sistemi venne commercializzato nell'aprile 1996: attualmente sono disponibili più di 50 prodotti (sistemi di proiezione e alcuni a retroproiezione) sia per applicazioni di tipo *business*, sia in ambito domestico (*home entertainment*) e sono stati finora prodotti più di mezzo milione di sottosistemi basati sulla tecnologica DLP™.

È quindi una tecnologia per la visualizzazione di immagini televisive (a definizione normale e in alta definizione) che sembra avere un futuro promettente anche per le applicazioni domestiche, in competizione con altre tecnologie quali quella PDP (*Plasma Display Panel*), oggetto degli articoli precedenti, in questo stesso numero della rivista.

Sistemi di visualizzazione con queste caratteristiche possono essere fondamentali per lo sviluppo di servizi di televisione arricchita (quali quelli resi possibili, ad esempio, dal progetto DVB-MHP (*Digital Video Broadcast – Multimedia Home Platform*) oggetto dell'articolo che segue.

A titolo di esempio si può citare il recente annuncio (gennaio 2001) di un progetto che prevede che un limitato numero di famiglie opportunamente selezionate (in North Carolina, USA) siano dotate di un sistema a retroproiezione DLP™ e siano messe in grado di fruire di programmi diffusi da "*WRAL digital*" (una emittente che rivendica il primato nella adozione in USA del formato HDTV digitale e nella diffusione di notiziari completamente in formato HDTV) e di interagire con il sistema di *home entertainment* per mezzo di una interfaccia di navigazione appositamente sviluppata. Il video diffuso e le informazioni ricevute via internet potranno essere presenti contemporaneamente sullo schermo, grazie al *middleware* realizzato per questo progetto.

**PROJECTION SYSTEMS BASED ON MICROMIRRORS – Microelectromechanical devices known as micromirrors are the basis for image projector systems (front-projectors and rear-projectors). Commercially available equipment find applications in the business and entertainment markets. Rear-projector systems are characterised by versatility (they display digital signals, video and computer images, standard and high definition) and high picture quality, the cost is still high and this is a limit for the penetration into the home tv market. The article is based on the technical literature and commercial information available via web.**

## 2. Non è solo un gioco di... microspecchi

La maggior parte dei sistemi di visualizzazione sono basati sulla emissione da parte di fosfori colpiti da elettroni, come nel caso dei tubi a raggi catodici (CRT, *Cathode Ray Tube*) o dei pannelli al plasma (PDP, *Plasma Display Panel*), oppure sul principio della valvola di luce: è questo il caso dei sistemi LCD (*Liquid Crystal Device*) o di quelli a film d'olio (sviluppati all'inizio degli anni '40 dall'Istituto Federale Svizzero della Tecnologia).

Nel caso dei sistemi di proiezione a riflessione, invece, l'immagine si forma su un dispositivo in grado di riflettere la luce e quindi, attraverso un insieme di lenti, consentire la proiezione dell'immagine sullo schermo.

I sistemi DLP™ sono basati sulla riflessione della luce da parte di una schiera di veloci interruttori, ciascun interruttore è uno specchio quadrato in alluminio di lato pari a 16 μ (in pratica quattro microspecchi potrebbero essere allineati lungo il diametro di un capello umano).

### 2.1 Il DMD™ è un MEMS

Il DMD™ fa parte di una classe di dispositivi noti come sistemi microelettromeccanici (MEMS, *microelectromechanical systems*) definibili come "dispositivi, o insiemi di dispositivi, ad elevata miniaturizzazione che combinano componenti elettrici e meccanici e che sono fabbricati usando tecniche per la produzione dei circuiti integrati".

Questa classe comprende altri dispositivi, ad esempio sensori di pressione e accelerometri, che trovano applicazione in vari campi: nell'industria automobilistica (sensori di pressione dei pneumatici, accelerometri per *airbag*...) e in campo medico (sensori della pressione sanguigna, stimolatori dei muscoli...).

Il DMD™ è costituito da una matrice, o schiera, di specchi (da mezzo a un milione di specchi, a seconda del formato, disposti su una superficie analoga a quella di un'unghia) ciascuno dei quali può assumere due posizioni (acceso o spento, on e off, 1 o 0) e ruota di 10° in funzione della attrazione elettrostatica tra la struttura dello specchio e gli elettrodi connessi alla sottostante cella di memoria. In figura 1 è schematizzata la struttura di un singolo elemento. Dettagli sulla struttura e sul processo di fabbricazione sono reperibili in [1].

La figura 2 è una rappresentazione esplosa di un singolo microspecchio e in figura 3 alcune microfotografie illustrano la struttura reale della schiera di specchi.

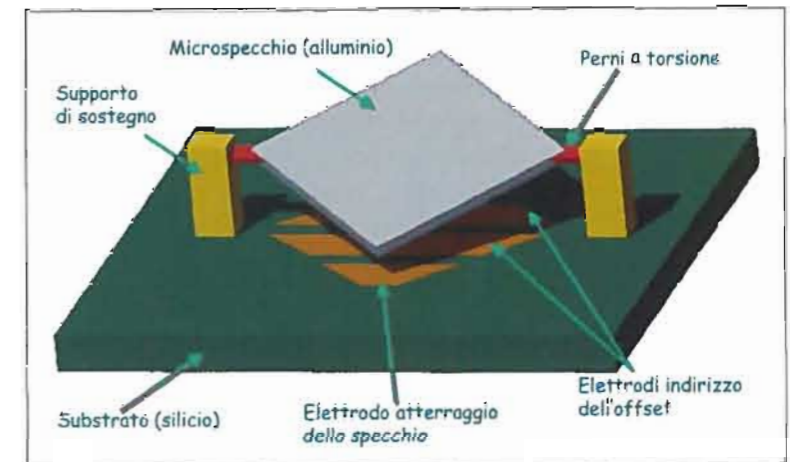



**Fig. 1 - Rappresentazione semplificato di un singolo elemento di DMD (un pixel).**

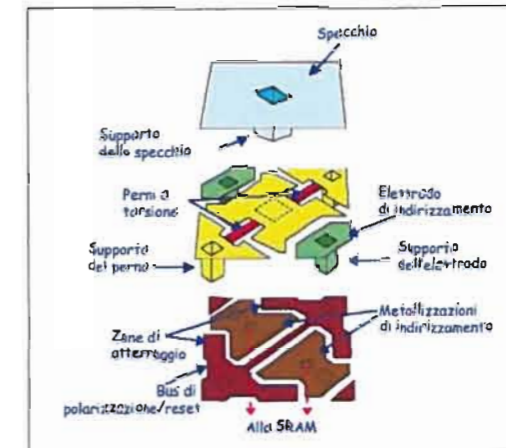



**Fig. 2 - Rappresentazione esplosa di un singolo elemento DMD™.**

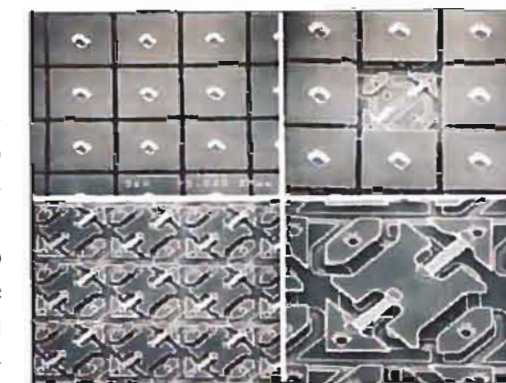



**Fig. 3 - Queste microfotografie illustrano una porzione di DMD™. In alto a sinistra sono visibili 9 microspecchi. Nella foto in alto a destra è stato rimosso quello centrale ed è così visibile la struttura dei perni. Nella foto in basso a sinistra tutti i microspecchi sono stati rimossi. Infine, la foto in basso a destra mostra un ulteriore ingrandimento della struttura sottostante al microspecchio. (La foto è tratta da pubblicazioni della Texas Instruments).**

### 2.2 Piccoli e affidabili

Sembra difficile che una struttura microelettromeccanica di tale complessità (ciascuno specchio è commutato migliaia di volte al secondo) possa garantire livelli di affidabilità tali da consentire la realizzazione di prodotti destinati all'uso domestico.
Per fugare tali dubbi è disponibile un'approfondita letteratura tecnica [2], [3] e qui di seguito sono riassunti i punti discussi in [4], documento che cerca di fornire risposte "semplici" ai possibili dubbi sull'affidabilità di tali dispositivi.

*Perché i perni, che permettono agli specchi di ruotare migliaia di volte al secondo, non si piegano o non si rompono?* Un materiale, sottoposto a "fatica", cioè piegato ripetutamente, si rompe a causa dello spostamento, all'interno della struttura cristallina, dei singoli cristalli che lo compongono. Nel caso del perno del microspecchio, a ragione delle dimensioni microscopiche, tutti i cristalli si trovano sulla superficie della struttura: non esiste una struttura di cristalli interni e quindi il fenomeno di *stress* dovuto allo spostamento non ha conseguenze. Le leggi della meccanica hanno effetti diversi a seconda che si applichino agli oggetti delle dimensioni a cui siamo abituati nella vita di tutti i giorni oppure a oggetti miniaturizzati.

*Non è possibile che gli specchi rimangano "incollati"?* Il progetto del dispositivo ha portato all'eliminazione delle possibili cause di blocco dello specchio: vi sono delle minuscole molle che spingono lo specchio lontano dalla superficie di atterraggio, quando cessa la forza elettrostatica; sono stati ridotti al minimo gli effetti delle forze di van der Waals che causano l'attrazione dei materiali a livello molecolare; gli effetti dovuti alla possibile condensazione dell'umidità sono ridotti poiché il dispositivo è sigillato in ambiente secco in un *package* ermetico che assicura l'assenza di umidità per l'intera vita del dispositivo.

*I microspecchi non sono fragili?* La rottura, ad esempio di un vetro, è normalmente causata dalle vibrazioni. Nel caso di superstrutture DMD™ i modi di vibrazione sono caratterizzati da frequenze almeno due ordini di grandezza superiori a quelle generate nell'uso normale (la frequenza di risonanza più bassa è 100 kHz, le successive armoniche sono dell'ordine dei MHz). In pratica le sorgenti di vibrazione e di *shock* di esperienza quotidiana, ad esempio la caduta sul pavimento, non hanno particolari conseguenze sui dispositivi a microspecchi.

*Muovendosi così rapidamente, col tempo non si rompono?* La velocità media dello specchio è solo 40 cm/s, non è molto elevata; se si vuole confrontarla con quella associata ad un fenomeno del mondo macro, si può citare la velocità di caduta al suolo di una foglia di quercia, pari a circa 100 cm/s.

*La probabilità di un microspecchio difettoso è alta?* I processi di fabbricazione dei DMD™ sono gli stessi utilizzati per la produzione dei circuiti integrati (*clean-room* per la fabbricazione dei *wafer*) e l'attuale resa è così elevata da consentire di soddisfare la richiesta di dispositivi garantiti, al momento della fabbricazione, privi di difetti al 100%.

Negli articoli precedentemente citati sono indicati in dettaglio i test e le indagini effettuati per valutare e migliorare l'affidabilità dei DMD™ e viene indicata una stima di MTBF (tempo medio fra guasti) superiore a 119 000 ore. In pratica i dispositivi dovrebbero operare oltre 10 anni, fino a 50 anni nel caso di uso non particolarmente frequente.







### 2.3 Proiettori a riflessione: da uno a tre DMD™

La figura 4 schematizza il principio di funzionamento di un proiettore a riflessione basato su DMD™: gli specchi sono comandati singolarmente e indirizzano la luce generata da un'opportuna sorgente o verso lo schermo (attraverso il sistema di lenti) oppure verso una superficie assorbente.
La scala dei grigi viene ottenuta utilizzando una tecnica di modulazione di ampiezza d'impulso (PWM, *pulse width modulation* [5]): il singolo microspecchio viene rapidamente commutato (tempo di commutazione meccanica 15 s e di commutazione ottica 2 s) e il rapporto tra il tempo in cui è "on" e il tempo in cui è "off" è direttamente proporzionale al livello di luminosità del punto corrispondente sullo schermo.
Questo modo di funzionamento è alla base di due delle caratteristiche principali di questi sistemi di visualizzazione:

- I DMD™ sono pilotati direttamente da parole binarie che individuano i singoli livelli di luminanza (figura 5) ed è quindi realizzabile un sistema completamente digitale, dove l'informazione relativa all'immagine numerica (derivata ad esempio da un segnale video MPEG oppure generata direttamente da un PC) viene trasformata in informazione visuale senza necessità di utilizzare un convertitore digitale/analogico;
- grazie all'elevata frequenza di commutazione, il sistema psico-visivo umano non percepisce *flicker*.

Sono commercializzate tre configurazioni differenti di proiettori, che utilizzano uno, due o tre DMD™. I proiettori con un solo dispositivo sono quelli caratterizzati da un minor costo, basso peso, assenza di problemi legati alla convergenza: sono adatti per sistemi portatili. I sistemi a tre dispositivi forniscono le maggiori prestazioni in termine di luminosità e sono utilizzati per proiezioni in luoghi pubblici (fiere, sale per conferenza e teatri).
In figura 6 è schematizzato lo schema di funzionamento della configurazione che utilizza un solo DMD™. La luce monocromatica passa attraverso tre filtri (rosso, verde, blu) che costituiscono le tre porzioni di una ruota: quindi l'informazione di

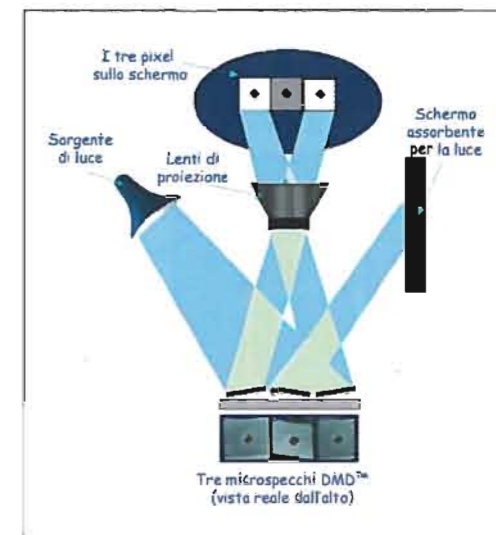



**Fig. 4 - In questa rappresentazione schematica la luce incide su tre specchi (ovvero tre pixel). Due specchi (nello stato "on") riflettono la luce che attraverso il sistema di lenti arriva allo schermo producendo due pixel bianchi. Lo specchio centrale (nello stato "off") riflette la luce incidente verso una superficie assorbente e quindi il corrispondente pixel sullo schermo risulta nero.**

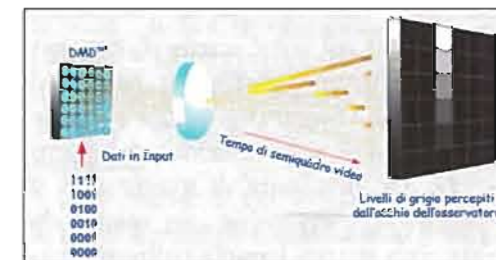



**Fig. 5 - Esempio di formazione di scala dei grigi: in questo caso a ciascuna delle 16 parole costituite da 4 bit corrisponde un livello di grigio.**

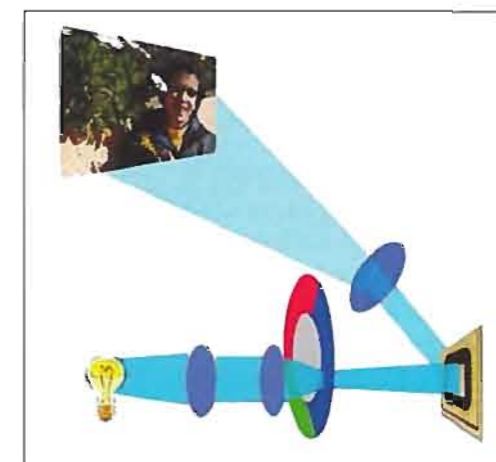



**Fig. 6 - Schema di funzionamento di un sistema basato su un solo DMD™. La luce bianca è focalizzata su un filtro a forma di ruota. I filtri rosso, verde e blu passano in sequenza fra la sorgente di luce e il dispositivo a microspecchi. Gli specchi sono commutati in modo da riflettere la luce sulla base dell'informazione video e il sistema visivo umano integra i colori in sequenza, si ottiene così la percezione dell'immagine a colori.**

**Fig. 7 - Schema di funzionamento di un sistema basato su tre DMD™. Per ogni colore, rosso verde e blu il DMD corrispondente viene commutato dal segnale video. I tre contributi formano il segnale luminoso inviato al proiettore.**

crominanza, così come quella di luminanza, viene ottenuta grazie alla tecnica di modulazione d'impulso della luce e alla elevata velocità di commutazione dei microspecchi. La luminosità di questo tipo di proiettore è competitiva con quella che caratterizza sistemi basati su altre tecnologie, e si ottengono vantaggi dal punto di vista della compattezza e del costo, tuttavia mediamente circa i due terzi della luce generata dalla lampada vanno persi.

In figura 7 è rappresentato lo schema di un proiettore basato su tre DMD™, rivolto ai mercati dove la luminosità e la qualità dell'immagine sono i requisiti principali, mentre dimensione, peso e costo sono secondari. In questo caso si pone il problema di garantire l'allineamento dei tre colori, rosso, verde e blu, affinchè si sovrappongano sullo schermo in corrispondenza di ciascun pixel e il mantenimento di tale allineamento al variare della temperatura operativa (da +10°C a +40°C) e in caso di vibrazioni o *shock* [6].

**Fig. 8 - La struttura a microspecchi consente di avere immagini in cui il fattore di riempimento è molto elevato, riducendo quindi la visibilità dei singoli pixel (immagini tratte da [8]).**

La particolare struttura dei dispositivi a microspecchio è la ragione di un'ulteriore vantaggio rispetto ad altre tecnologie adottate per la proiezione (figura 8): l'elevata area attiva dell'immagine (fattore di riempimento prossimo al 90%). Infatti le singole superfici riflettenti (i microspecchi quadrati di 16 m di lato) sono separati da spazi di 1 m, poiché l'elettronica di controllo è integrata nelle parti sottostanti.

## 2.4 Pre-elaborazione dell'immagine

I microspecchi sono il cuore di un sistema molto articolato che implica una complessa elaborazione del segnale video in ingresso [7], [8], [9].

Il diagramma di flusso che rappresenta i possibili stadi di pre-elaborazione del segnale video prima della visualizzazione è in figura 9.

Il primo blocco funzionale comprende la **demodulazione** e la **decodifica** del segnale video, che può essere in formato analogico (ad esempio un segnale televisivo PAL) oppure digitale (ad esempio MPEG).

Successivamente si adatta il formato dell'immagine a quello ottimale per il sistema di visualizzazione mediante microspecchi.
Questo è intrinsecamente digitale, pertanto nel caso di segnale di tipo analogico si effettua la **conversione analogico-digitale**.
La schiera di microspecchi è adatta a visualizzare immagini di tipo progressivo, quindi, nel caso in cui il segnale di ingresso sia interlacciato (i segnali televisivi, sia NTSC che PAL) si provvede alla **conversione da interlacciato a progressivo**. In tal modo si possono ridurre alcuni artefatti tipici delle immagini interlacciate (*flicker* di riga e di quadro, visibilità della struttura a righe). Il deinterlacciamento può essere effettuato utilizzando tecniche di varia complessità. Quelle più semplici (ripetizione di riga, media fra righe adiacenti, e in generale FIR *intra-field*) sono meno costose, poiché non richiedono memorie di quadro, ma presentano difetti quali *flicker* di riga e perdita di risoluzione. Le tecniche *inter-field* e *inter-frame* di tipo adattativo basate sulla rilevazione del movimento hanno prestazioni decisamente migliori a spese di una complessità via via crescente (fino a tre memorie di semiquadro e circa 90 kgates per la realizzazione dell'algoritmo).
Nel caso di proiezione mediante DMD™ il *pixel* è quadrato, inoltre la schiera di microspecchi ha un numero di pixel per riga ed un numero di righe per quadro ben definito (figura 10). Per adattare i vari formati video d'ingresso vengono quindi applicate delle operazioni di **ricampionamento e scalamento**, orizzontale e verticale, mediante filtri FIR (*finite impulse response*). In tabella 1 sono indicati alcuni dei fattori di scalamento necessari nel caso dei segnali di ingresso più comuni.
Occorre inoltre effettuare la **conversione delle componenti di crominanza** (da luminanza e differenze di colore agli appropriati valori RGB, rosso, verde e blu).
Per compensare la caratteristica non lineare dei CRT, ai segnali video viene applicata, in fase di codifica, una precorrezione denominata gamma: poiché i DMD™ hanno invece una caratteristica di trasferimento segnale-luce lineare, occorre applicare una funzione di **degamma**.
Il miglioramento dell'immagine, cioè della qualità percepita, è attuata in gran parte sfruttando le risorse (in termini di memoria e di complessità circuitale) necessarie per le operazioni precedentemente descritte.
La memoria di quadro necessaria per il deinterlacciamento e per lo scalamento, viene sfruttata per realizzare anche un filtro temporale per la **riduzione del rumore di luminanza.**
È applicato un algoritmo adattativo di

**Fig. 9 - Schema di flusso generico che rappresenta le elaborazioni a cui è soggetto il segnale video per adattarlo alla visualizzazione.**

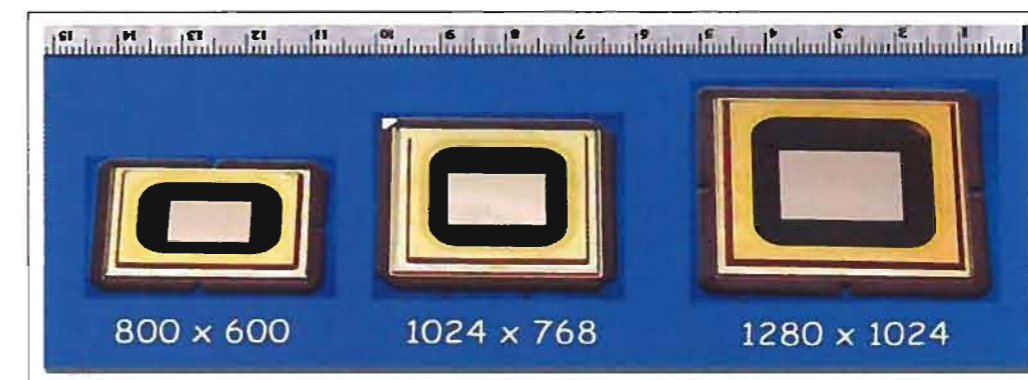



**Fig. 10 - Tre dispositivi DMD™. Sono stati realizzati tre differenti formati (VGA, SVGA e XGA) caratterizzati dalle schiere di specchi (pixel) indicate. Le dimensioni dei dispositivi, possono essere valutate grazie alla scala graduata, in cm, sovrastante.**

**Tabella 1**

**Modi di scalamento per i più comuni segnali d'ingresso nel caso di visualizzazione con DMD 800x600**

| Sorgente ($f_s$ = 14,75 MHz) | Campionamento orizzontale | Campionamento verticale |
|---|---|---|
| NTSC | - | 5:6 |
| NTSC letterbox | 9:10 | 3:4 |
| PAL | - | - |
| PAL 16:9 | 6:7 | 8:7 |
| PAL+ | 6:7 | 6:7 |
| VGA | 4:5 | 4:5 |

**espansione dei livelli nero/bianco** in modo da migliorare la percezione soggettiva del contrasto: la dinamica dei neri (bassi livelli dei segnali) è estesa verso il basso, ma solo nel caso in cui la scena presenti una dinamica complessiva sufficientemente estesa, al fine di evitare una saturazione al nero nel caso di scene particolarmente scure. Analoga operazione può essere applicata per estendere la dinamica dei bianchi.
Ulteriori miglioramenti della qualità percepita sono attuati per quanto riguarda il **dettaglio di luminanza** (per il video e per la grafica), e le **transizioni di crominanza** (si riducono i difetti dovuti alla limitazione in banda delle componenti di crominanza del segnale video codificato PAL, NTSC o MPEG).

La riduzione degli artefatti ha lo scopo di ridurre al disotto della soglia di visibilità la percettibilità dei difetti tipici dei sistemi di visualizzazione digitali (quali il DMD™). L'aggiunta di rumore bianco (*dithering*) riduce la comparsa di **contorni spaziali** dovuti all'operazione di degamma.
Sempre operazioni di *dithering*, selettive spazio/temporali, evitano la percezione di **contorni temporali** dovuti all'uso della PWM per modulare la luce e ottenere la scala dei grigi: i movimenti dell'occhio o la temporanea ostruzione dell'immagine dalla vista possono essere la causa della comparsa di questi artefatti.
Infine vengono attuate le operazioni di **formattazione** per generare i segnali **PWM**, di generazione di **informazioni di sfondo**, nel caso in cui l'immagine non riempia l'intera area visualizzabile, **memorizzazione** delle opportune informazioni per la generazione delle immagini nella memoria di *buffer* e in quella DMD™, supporto dei diversi **formati di proiezione**, frontale e a retroproiezione.

A questo punto dovrebbero essere evidenti le ragioni per cui questa sezione è intitolata "non è solo un gioco di... microspecchi", il sistema DLP™, di cui DMD™ è il cuore, è un sistema complesso, in cui funzioni e algoritmi sono integrati in ASIC (*Application Specific Integrated Circuit*) sviluppati per soddisfare al meglio i requisiti di qualità richiesti per la visualizzazione di immagini nei diversi campi di applicazione.

## 3. Le applicazioni

Fin dal momento in cui fu percepito che il DMD™ poteva rappresentare la sorgente di un *business* interessante, furono creati modelli per lo sviluppo di prodotti guidato dalle necessità evidenziate dal mercato [10]. Le applicazioni individuate possono essere raggruppate in: *business*, *entertainment*, *photofinishing*.

### 3.1 Business

Il segmento *business* può essere articolato a sua volta in:

- **sistemi portatili**, in questo campo vi è un'ampia offerta, che comprende apparati basati sull'uso di un solo DMD™. È individuata un'ulteriore segmentazione, basata sul peso, in sistemi sub-portatili, micro-portatili, ultra-portatili, e portatili. Nella tabella 2 sono riassunte le caratteristiche principali dei modelli attribuiti a ciascuna categoria. Delle categorie micro e ultra, che comprendono il maggior numero di proiettori, sono indicati i dati relativi ai soli modelli di peso minimo e di peso massimo. La distribuzione dei modelli in categorie basate sul solo peso non è particolarmente indicativa delle prestazioni globali; grazie ai miglioramenti tecnologici, anche per quanto riguarda le lampade, l'offerta tende a soddisfare le richieste del mercato: modelli di peso e ingombro molto ridotti, definizione XGA (1024 x 768), il costo è un fattore importante e in alcuni modelli scende al di sotto della soglia dei 4000 euro.
- **sistemi per grandi sale e conferenze**, anche in questo caso l'offerta è estesa (oltre 30 modelli) e presenta un'ampia gamma in termini di luminosità, peso, e ingombro. I sistemi in questa categoria utilizzano tre DMD™, hanno risoluzione fino 1280 x 1024 e il peso spesso supera i 90 kg (il più pesante è 135 kg). La luminosità in alcuni casi raggiunge i 12 000 ANSI lumen con un contrasto pari a 500:1.
- *video wall*: vi sono più di 10 modelli identificati in questo segmento, dotati di uno oppure due DMD™.

### 3.2 Entertainment

L'*entertainment* comprende *home theatre* e cinema digitale.

Quello dell'*home theatre* è forse il mercato di maggior interesse per il radiodiffusore, che deve garantire livelli di qualità dell'immagine sufficientemente elevati da soddisfare anche le esigenze di questo segmento di utenza. Trovano applicazione i proiettori frontali, ma soprattutto i retroproiettori (tabella 3), protagonisti del progetto di cui si accenna nell'introduzione e della presentazione in un recente seminario organizzato dall'UER (Unione Europea di Radiodiffusione) [11].
Questi apparati sono caratterizzati da ingombro e peso significativi, ma probabilmente accettabili, a fronte di una qualità d'immagine elevata su schermo di ampie dimensioni (diagonale da 50" a 65") e della flessibilità d'uso (accettano i formati d'ingresso televisivi e da *computer*, compresi quelli ad alta definizione). Il limite maggiore è ovviamente il costo, attualmente tra i 10 000 e i 13 000 euro.

**Tabella 2**

**Caratteristiche dei sistemi portatili (a proiezione frontale con 1 DMD)**

| | | Sub-portatili | | | Micro-portatili | | Ultra-portatili | | Portatili | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 1 | 24 | 1 | 13 | 1 | 2 | 3 |
| Dimensioni [cm] | altezza | 5,1 | 4,8 | 4,8 | 6,9 | 8,4 | 14 | 23,1 | 23,1 | 14 | 14 |
| | larghezza | 15,9 | 12,3 | 12,2 | 18 | 21,6 | 32,8 | 13 | 13 | 33 | 32,8 |
| | profondità | 21 | 17,8 | 17,8 | 22,1 | 25,9 | 32,8 | 35 | 35 | 27,2 | 32,8 |
| Risoluzione nativa [Numero di pixel] | orizzontale | 1024 | 800 | 1024 | 1024 | 1024 | 800 | 800 | 1024 | 1024 | 1024 |
| | verticale | 768 | 600 | 768 | 768 | 768 | 600 | 600 | 768 | 768 | 768 |
| Luminosità [ANSI lumen] | | 1100 | 800 | 800 | 1000 | 1200 | 700 | 575 | 675 | 1500 | 1800 |
| Sistema | | 1 DMD | 1 DMD | 1 DMD | 1 DMD | 1 DMD | 1 DMD | 1 DMD | 1 DMD | 1 DMD | 1 DMD |
| Contrasto | Scacchiera<br>Intero on/off | 400:1 | 800:1<br>300:1 | 400:1 | 400:1 | 400:1 | 400:1 | 350:1 | 350:1 | 150:1<br>300:1 | 350:1 |
| Colori (milioni) | | 16,7 | 16,7 | 16,7 | 16,7 | 16,7 | 16,7 | 16,7 | 16,7 | 16,7 | 16,7 |
| Lampada | Tipo | UHP | UHP | UHP | UHP | NTP | | | | | NPT |
| | Potenza [W] | 120 | 130 | 130 | 120 | 200 | 270 | | | 350 | 350 |
| | Durata [ore] | | | | 1500 | 2000 | 1000 | 2000 | 2000 | 2000 | 2000 |
| Peso [kg] | | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,36 | 2,9 | 3,1 | 4,9 | 5 | 7,2 | 7,2 |

I dati indicati sono ricavati dalle informazioni disponibili alla URL www.dlp.com

La tecnologia adottata per la produzione cinematografica è rimasta sostanzialmente la stessa dei primi anni del '900. Una delle sfide più interessanti per i sistemi basati su microspecchi è quella di fornire l'ultimo anello per la realizzazione di una catena completamente digitale: telecamera ad alta definizione, elaborazione elettronica delle immagini, memorizzazione e trasmissione, visualizzazione su grande schermo.
I vantaggi ed i limiti di una tale soluzione sono stati considerati dal Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica della Rai che, a partire dal 1986 ha collaborato all'organizzazione di numerose proiezioni in cui materiale video con diverse caratteristiche (sorgenti TV e HDTV, film 35 mm) è stato proiettato al fine di valutare la qualità otte-

**Tabella 3**
**Caratteristiche dei sistemi a retroproiezione**

| | | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|---|
| Dimensioni [cm] | altezza | 100,03 | 145,08 | 99,57 |
| | larghezza | 130,81 | 145,42 | 121,16 |
| | profondità | 60,32 | 62,53 | 44,96 |
| Numero di pixel | orizzontale | 1280 | 1280 | 1280 |
| | verticale | 720 | 720 | 720 |
| Luminosità [ANSI lumen] | | 350 | | 300 |
| Sistema | | 1 DMD | 1 DMD | 1 DMD |
| Contrasto | | | | 400:1 |
| Colori (milioni) | | 16,77 | 16,77 | 16,77 |
| Potenza lampada [W] | | | 120 | 200 |
| Peso [kg] | | 89,91 | | 58,97 |

I dati indicati sono ricavati dalle informazioni disponibili alla URL www.dlp.com

nibile e le condizioni di visione ottimali. Dal 1996 sono stati utilizzati anche proiettori a microspecchi e il Centro Ricerche si è dotato di un sistema Power 5gv (risoluzione 1024 x 768, luminosità 5000 ANSI lumen, peso 91 kg).
Nel 1997 la Texas Instruments ha avviato un programma, nell'ambito del progetto DLP™ **Cinema** [12], per sviluppare un proiettore dimostrativo, e successivamente un proiettore prototipo, basati su un DMD™ da 1280 x 1024 specchi (*aspect ratio* pari a 5:4) in grado, grazie a lenti anamorfiche, di proiettare i due formati comuni nel cinema (1,85:1 e cinemascope, cioè 2,35:1). Attualmente più di 30 sale nel mondo sono attrezzate con sistemi basati su questa tecnologia, nell'aprile 2001 si è avuto l'annuncio della prima installazione di questo tipo in Italia, in una delle sale di un *multiplex* nella cintura nord di Milano.

La qualità fornita dai sistemi digitali non è pari a quella della pellicola a 35 mm, ma un sistema di distribuzione (via supporto ottico, canale satellitare o fibra ottica) consentirebbe di eliminare i costi e i tempi necessari alla realizzazione delle copie su pellicola, permettendo quindi di adattare l'offerta (in termini di localizzazione e quantità di sale) alle richieste del pubblico e riducendo, si spera, i rischi di pirateria. Inoltre le sale sarebbero adatte alla proiezione sia di film che di eventi, quali manifestazioni sportive, concerti e spettacoli dal vivo.

### 3.3 Photofinishing

Il giro di affari dell'industria per gli apparati, i servizi e i materiali di consumo necessari per la cattura e la stampa delle fotografie ammontava nel 1997 a 40 miliardi di dollari. Fu quindi avviato un progetto di sviluppo di apparati basati su sistemi DLP™ per la stampa di foto. Il mercato dei sistemi di stampa a partire dall'immagine elettronica è ritenuto molto promettente, soprattutto a seguito della rapida penetrazione dei sistemi di ripresa digitale (foto e tele-camere digitali) [13].

### 3.4 Telescopi spaziali

Le applicazioni precedentemente descritte sono quelle individuate dalla Texas Instruments, che ha il primato per l'invenzione, lo sviluppo e gli investimenti nel campo della tecnologia dei microspecchi. Esistono però altri laboratori che propongono applicazioni basate su questa tecnologia.
Ad esempio, una schiera di 2048 x 2048 microspecchi quadrati di lato pari a 100 μ è in corso di sviluppo ai laboratori Sandia (Albuquerque, New Mexico): tale dispositivo potrebbe essere parte della nuova generazione di telescopi spaziali della Nasa, il cui lancio è attualmente previsto nel 2008.





## 4. Conclusioni

I sistemi illustrati in questo articolo hanno caratteristiche molto simili a quelle del cammello, definito "un animale progettato da un gruppo di tecnici ed esperti di discipline apparentemente estranee fra loro, destinato a soddisfare requisiti contrastanti, e che, incomprensibilmente, funziona, anche negli ambienti più ostili".

I sistemi di visualizzazione basati sui microspecchi sono stati progettati per soddisfare le esigenze dei consumatori, in aree di mercato in rapida espansione, e le attività di *marketing* [14] e di posizionamento del *brand* [15] sembrano essere efficaci (lo testimoniano anche i numerosi ™ presenti in quest'articolo). La riduzione dei costi, già in corso, e le caratteristiche di qualità e di usabilità dei prodotti dovrebbero essere fattori determinanti per l'acquisizione di significative quote di mercato (in particolare per i segmenti *business*) per i prodotti basati sulle tecnologie oggetto dell'articolo.
Per quanto riguarda i sistemi di visualizzazione domestica, le prestazioni in termini di qualità dell'immagine e soprattutto di versatilità dell'impiego (per sorgenti video e computer, per applicazioni quali alta definizione e la televisione arricchita) sono estremamente interessanti: l'ostacolo più impegnativo rimane il costo.

**Riconoscimenti**
Il presente articolo è tratto principalmente dal materiale disponibile alla URL www.dlp.com. Tale sito è ricco di informazioni sia di tipo commerciale, che di tipo tecnico, in particolare i *whitepaper* citati in bibliografia.
Il merito delle prime valutazioni presso il Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica Rai sulle prestazioni e sui limiti dei sistemi a proiezione a microspecchi è da ascrivere principalmente a Giovanni Cerruti.

### Bibliografia

1 – Hornbeck L. J., *Digital Light Processing for High Brightness, High-Resolution Applications*, Proceedings SPIE, Vol. 3013, pp. 27-40, EI '97 Projection Displays III
2 – Douglass M. R., *Lifetime Estimates and Unique Failure Mechanisms of the Digital Micromirror Device (DMD)*, Proceedings, IRPS, 36th Annual, pp 9-16, International Reliability Physics Symposium, 1998
3 – Douglass M., Sontheimer A., *Identifying and eliminating Digital Light Processing failures modes through accelerated stress testing*, pp. 128-136, TI Technical Journal, Luglio-Sett. 1998
4 – Douglass M.R., *Why is the Texas Instruments DMD so reliable?*,
5 – Doherty D, Hewlett G, *Pulse width modulation control in DLP™ projector*, pp. 115-121, TI Technical Journal, Luglio-Sett. 1998
6 – Brown E., Barnett J., Pyles D., *Of mirrors and microns – A convergence story*. pp. 122-127, TI Technical Journal, Luglio-Sett. 1998
7 – Markandey V., Clatanoff T., Pettitt G., *Video Processing for DLP Display Systems*, SPIE Proceedings, vol. 2666, 1996
8 – Ohara K., *DLP front-end video processing with programmable processor*, pp. 101-105, TI Technical Journal, Luglio-Sett. 1998
9 – Sexton B., Ohara K., Asahara M., *DLP image processing IC-Andromeda ASIC*, pp. 106-114, TI Technical Journal, Luglio-Sett. 1998
10 – Parry A., Sottard B., Barry R., *Digital Imaging's integrated product development process*, pp. 47-55, TI Technical Journal, Luglio-Sett. 1998
11 – Monk D. W., *Digital Light Processing*, TV Production for the Multimedia World, Seminar at EBU, Geneva 30 gen-1 feb 2001
12 – Werner B., Dewald S., *Stiriving to achieve the ultimate – Digital Cinema*, pp. 165-171, TI Technical Journal, Luglio-Sett. 1998
13 – Bohler C.L., Nelson E., Bhuva R.R., Bommersbach W.M., Powell D., Whitney D., Photofinishing with Digital Light Processing, pp. 172-182, TI Technical Journal, Luglio-Sett. 1998
14 – Yoder L.A., *Customer-driven product development: Putting marketing and engineering to work*, pp. 150-158, TI Technical Journal, Luglio-Sett. 1998
15 – Greenberg R., *Creating brand equity from ingredient technology*, pp. 159-161, TI Technical Journal, Luglio-Sett. 1998

### Note

(¹) DMD, Digital Micromirror Device, DLP, Digital Light Processing sono TradeMark della Texas Instruments Incorporated

# Multimedia Home Platform. Uno standard comune per servizi e terminali domestici

**M. Cane, D. Gibellino**

ing. Massimiliano Cane, Rai – Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica – Torino,
dott. Ing. Diego Gibellino, Telecom Lab – Torino.

L'articolo è stato redatto nell'ambito dell'attività di tesi di laurea e stage svolta presso il Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica della Rai.
Dattiloscritto pervenuto alla Redazione il 18 aprile 2001

**Il Progetto MHP si propone di definire un nuovo terminale domestico attraverso il quale sia possibile per l'utilizzatore accedere ad un ampia gamma di esistenti o nuovi servizi. Lo strumento mediante il quale il progetto persegue questo obbiettivo è la stesura di uno standard aperto, da trasmettere ai competenti enti internazionali di normativa, che stabilisca le funzionalità e le interfacce del terminale MHP. Il progetto si prefigge di concedere ai costruttori dei terminali ed ai fornitori di servizi ampi gradi di libertà per differenziare in un'ottica di mercato i loro prodotti; a tal fine ha stabilito l'inclusione nello standard di differenti profili di terminale, in base al segmento di mercato di destinazione, e di differenti livelli minimi di prestazione. Il Progetto MHP, attivo in ambito del Consorzio per il DVB dal 1997, esteso alla partecipazione delle più importanti aziende ed istituzioni, ha rilasciato nel febbraio 2000 la prima versione della specifica MHP, focalizzata sul servizio televisivo, che è stata assunta al ruolo di standard ETSI come TS 101 812 V1.1.1. La specifica è focalizzata sul servizio televisivo digitale, terrestre e via satellite, e sul Set-Top-Box quale prima implementazione pratica del terminale domestico. Questo articolo prende in esame la cronistoria del progetto, i requisiti commerciali e tecnici del terminale MHP, l'impatto che questa nuova tecnologia potrà avere su strutture di produzione, distribuzione, e in ultima analisi anche sulle nostre abitudini quotidiane.**

**MULTIMEDIA HOME PLATFORM – A COMMON STANDARD FOR SERVICES AND HOME TERMINALS – MHP Project is aimed to define a new home terminal that enables users to access a wide range of existing and innovative services. The project objective is the definition of an open standard, to be released by International Bodies, including functionalities and interfaces of the MHP terminal. Terminal manufacturers and service providers shall be granted of a wide degree of freedom to characterize their products, based on specific business models. The standard includes different profiles for terminals: market segments and performance levels are the discriminant factors. MHP Project, started in 1997 by DVB, involves most important companies and organisations and in February 2000 has issued the first release of the specifications, soon become ETSI TS 101 812 v 1.1.1. This specification is focused on the digital TV services, terrestrial and via satellite, and on the Set-Top-Box as the home terminal. This article deals with the project history, the commercial and technical requirements of the MHP terminal, and the foreseen impact of this new technology on production, distribution environments, and on our habits.**

## 1. Introduzione

Sulla scia della rapida diffusione delle tecnologie digitali di produzione e distribuzione dei programmi televisivi sviluppate al proprio interno, il Consorzio europeo per il Digital Video Broadcasting ha avviato nel 1997 un progetto teso alla definizione di uno standard aperto per l'offerta e l'accesso ai servizi televisivi di nuova generazione. Tale progetto ha raggiunto nel febbraio 2000 un primo, importante traguardo, con il rilascio della prima versione di un nuovo standard, ratificato dall'ETSI, e denominato MHP: una sigla che entro la fine di quest'anno irromperà nelle case di molti di noi.

Questo articolo si propone di illustrare la cronistoria del progetto, descrivere succintamente il nuovo standard, identificare il ruolo svolto dalla Rai nel suo sviluppo e per la sua prossima adozione, e spiegare perché molti esperti del settore radiotelevisivo non esitino a definire l'MHP come una vera "rivoluzione copernicana".

### 1.1 Il quadro di riferimento

L'affermazione delle tecnologie digitali comporterà una progressiva sostituzione, o quantomeno un sostanziale aggiornamento, degli apparati attualmente utilizzati in tutti gli anelli della catena televisiva. Già a metà degli anni '90, il DVB si è tuttavia reso conto che l'impatto di queste nuove tecnologie sul settore avrà risvolti che andranno ben oltre i meri aspetti tecnici.

La tecnologia digitale rappresenta la soluzione globale alla domanda crescente di nuovi servizi radiotelevisivi, generalisti e tematici, in chiaro e a pagamento, e consente un aumento esponenziale dell'offerta di canali radiotelevisivi, vista la cospicua riduzione di banda da allocare in trasmissione per ciascun canale. Essa consente inoltre un miglioramento della qualità audio-video, l'introduzione del formato panoramico (16:9), e l'accesso a servizi Internet, multimediali e interattivi. Offre nuove opportunità per i fornitori dei servizi, i gestori di rete e l'industria cinematografica, agevola e rende economicamente vantaggiose sinergie un tempo impensabili, e stimola una forte convergenza tra settori industriali in passato rigidamente separati da barriere commerciali e, forse ancor più, culturali.

**Fig. 1 - Schema di convergenza ipotetica tra i servizi televisivi e informatici (fonte DVB).**

#### 1.1.1 Una convergenza inarrestabile

Nel corso degli anni '70 e '80 e nei primi anni '90, l'industria informatica e l'industria televisiva si sono sviluppate in Europa, ed in particolare in Italia, lungo filoni e con tempistiche rigidamente distinte. I prodotti ed i servizi di questi due settori industriali rispondevano a esigenze, o funzioni d'uso, percepite dai loro utilizzatori o acquirenti come nettamente distinte, se non in qualche caso come antitetiche: mentre per il primo caso, essi rappresentavano un mero strumento di lavoro, nel secondo caso erano visti come possibilità di svago, intrattenimento o informazione.

Anche dal punto di vista tecnico, i principi e le competenze richieste agli addetti ai lavori dei due settori erano tra loro complementari.

Nella seconda metà degli anni '90, questo quadro di riferimento è stato attaccato su due fronti da forze che lo hanno decisamente mutato. Da un lato, l'evoluzione tecnologica, ed in particolare la migrazione dall'analogico al digitale, ha creato un insieme di problemi, soluzioni e competenze comuni ai due settori, e ha indotto i rispettivi addetti ai lavori a parlare linguaggi tra loro più simili, e mutuamente comprensibili. Sul fronte opposto, diversi fattori, in primis l'accresciuto benessere e l'evoluzione del costume, hanno stimolato la ricerca o l'utilizzo da parte degli utenti di un medesimo strumento per soddisfare funzioni d'uso distinte, o addirittura funzioni d'uso del tutto nuove, nate dalla fusione o dalla sostituzione di preesistenti: esemplare per comprendere questo fenomeno è il caso del telefono cellulare, che, stando alle inchieste condotte da autorevoli organi di stampa, soddisfa oggi esigenze di comunicazione, status, accesso all'informazione e, da ultimo, anche intrattenimento.

Il DVB si è fatto interprete di questa convergenza tra industria informatica e radiotelevisiva, schematizzata in figura 1, con tutto il peso della propria autorevolezza. Nel 1997 il Consorzio ha infatti lanciato un nuovo progetto, con prospettiva di medio – lungo periodo, che già nella propria denominazione riassume l'idea stessa di convergenza.

### 1.2 Il Nome MHP

*Multimedia Home Platform* è il terminale domestico per l'accesso a servizi multimediali, è il Set Top Box (o televisore digitale integrato) di nuova generazione che dovrà arricchire le funzionalità del familiare elettrodomestico, e nel contempo integrare molte della funzionalità offerte dal personal computer, in particolare per quanto concerne l'accesso a Internet.

*Multimedia Home Platform* è il primo in ordine di tempo, il pioniere di una nuova famiglia di strumenti – definirli semplicemente elettrodomestici sarebbe riduttivo – la cui caratteristica peculiare dovrà essere la versatilità. Versatilità come capacità di adempiere in modo adeguato e possibilmente innovativo alla funzione d'uso per la quale tali strumenti sono stati progettati, ma con in aggiunta la capacità di evolvere a costi sostenibili per andare incontro a mutamenti o estensioni della funzione d'uso principale; in modo da rispondere dinamicamente a nuove esigenze manifestate dagli utilizzatori, o al progresso tecnologico. Questi nuovi strumenti dovranno gradualmente penetrare in tutti gli anelli della catena del servizio radio-televisivo, dal sistema di produzione e diffusione dei programmi, al terminale utente. E, proprio a livello di terminale utente, la versatilità deriverà dalla sinergia con l'industria informatica, che dispone di quelle tecnologie atte a rispondere a nuove esigenze, a migliorare o modificare, anche radicalmente, talune funzionalità con aggiornamenti o interventi concentrati in massima parte sul software e non sul terminale fisico.

*Multimedia Home Platform* è infine uno standard pubblico, aperto, già riconosciuto dall'ETSI, e garantito dal Consorzio DVB.

Il nome MHP, che letteralmente si traduce con *piattaforma multimediale domestica*, può quindi essere utilizzato indifferentemente per indicare:

- un nuovo elettrodomestico che presto diventerà familiare nelle case di molti di noi;
- uno standard internazionale;
- il punto di sintesi di un nuovo, vastissimo mercato creato dalla convergenza tra industria informatica e radio-televisiva;
- qualcosa che nella storia della televisione è comparabile solo all'introduzione del colore.

## 2. Il progetto MHP

Il progetto MHP nasce formalmente alla fine del 1997, con una decisione dello Steering Board del Consorzio DVB, che dà mandato al modulo commerciale del medesimo consorzio di costituire un gruppo di lavoro *ad hoc* con l'incarico di redigere una lista di dettagliati requisiti commerciali che il nuovo standard dovrà soddisfare. A far parte di questo gruppo vengono invitati rappresentanti degli enti europei e delle aziende maggiormente interessati al progetto, tra cui merita particolare menzione la Sun Microsystems®, le cui ricerche in ambito alla tecnologia Java™ sono alla base degli sviluppi progetto. In seno al gruppo, in ossequio allo statuto del DVB, si stabilisce una procedura di lavoro fortemente basata sul raggiungimento del consenso, quanto più vasto possibile, tra i partner, in modo da garantire poi ampio sostegno e buone prospettive di adozione allo standard.

L'obiettivo primario contenuto nel mandato dello Steering Board è la definizione di uno standard che sia aperto all'utilizzo da parte di ogni soggetto interessato, anche non membro del DVB, che non richieda accordi bilaterali tra i soggetti che realizzeranno singole componenti dello standard per l'integrazione ed il funzionamento degli stessi,

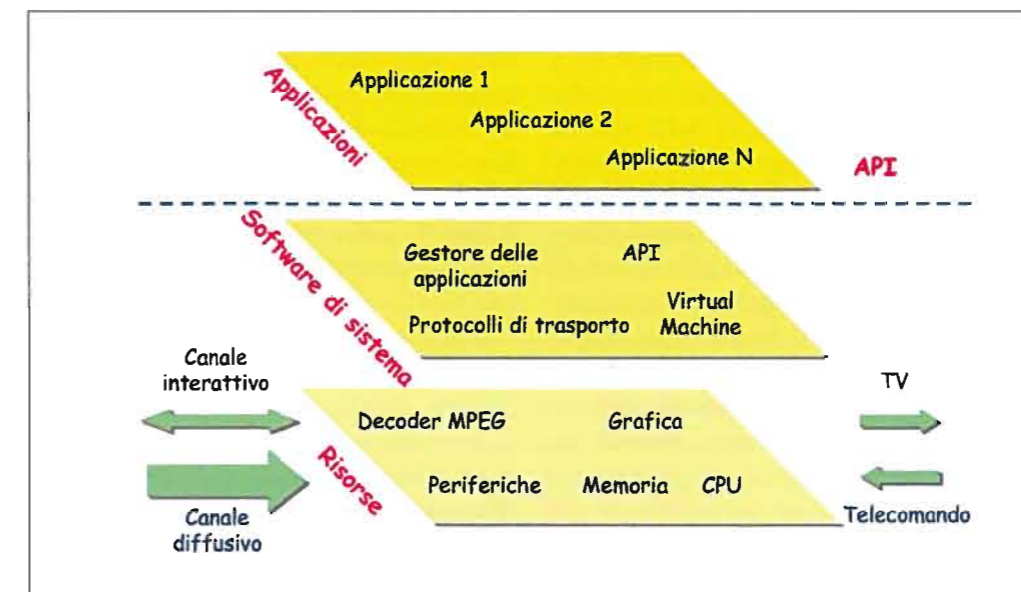



**Fig. 2 - Schema dell'architettura funzionale del terminale MHP.**

che preveda l'equivalenza, come prestazioni minime, delle implementazioni dello standard realizzate da soggetti diversi e tra loro indipendenti. Questo significa che, nel futuribile mercato di prodotti e servizi conformi allo standard MHP, ogni soggetto può operare indipendentemente e indifferentemente agli eventuali accordi commerciali stabiliti da o con altri soggetti. Gli apparati di diverse marche sono *sostituibili* tra loro, almeno per quanto attiene alla conformità con lo standard e alle prestazioni base, mentre i servizi offerti da diversi operatori sono *interoperabili*, nel senso che sono fruibili mediante qualunque apparato. Gli operatori di rete, o i broadcaster, possono essere *carrier* di qualunque servizio verso qualunque apparato.

La definizione di uno standard aperto vuole porre anche un freno al proliferare di tecnologie o prodotti, spesso tra loro incompatibili, che sono proprietari di singole aziende o di consorzi privati. Tale proliferazione è oggi indicata come il principale fattore che ostacola lo sviluppo del mercato dei servizi radio-televisivi digitali. L'obiettivo fissato dallo Steering Board è stato tradotto in un documento di Commercial Requirements, che hanno costituito la base di lavoro per un gruppo tecnico *ad hoc*, denominato TAM, costituito in seno al modulo tecnico del DVB. Questo gruppo, nel gennaio 2000, ha prodotto una specifica tecnica MHP che, approvata dal modulo tecnico e dallo Steering Board, è successivamente divenuta lo standard ETSI TS 101 812 V1.1.1 [1].

### 2.1 La normativa

La soluzione MHP copre l'intero set di tecnologie che sono necessarie all'implementazione di applicazioni per la fruizione di contenuto multimediale digitale interattivo nelle abitazioni, inclusi protocolli di comunicazione, interfacce fisiche e software. Essa contempla uno standard per il modello di base dell'architettura interna dei terminali, per il modello funzionale di base dei programmi software, e per il modello dell'interfaccia utente. Ne discende – traguardo non da poco per chi conosce la storia recente della TV – che il telecomando, gli eventuali dispositivi di puntamento e la tastiera dei terminali MHP seguiranno tutti un modello funzionale standard.

La normativa si astiene volutamente dallo specificare particolari implementazioni o realizzazioni delle funzioni del terminale, e allo stesso modo evita di porre vincoli eccessivamente stringenti sulla tipologia o la modalità di fruizione dei servizi che potranno essere offerti agli utenti attraverso il terminale. Questo allo scopo di concedere a tutti i soggetti che si avvarranno dello standard la massima libertà possibile nel perseguire i propri modelli commerciali, e per aumentare le probabilità di penetrazione dei prodotti MHP in mercati preesistenti.

### 2.2 La Piattaforma Multimediale Domestica

La piattaforma multimediale domestica viene definita come l'insieme di periferiche e di interconnessioni necessarie per l'accesso a risorse multimediali attraverso la rete digitale domestica.

L'architettura base della piattaforma MHP è composta da tre livelli o strati:

- Applicazioni
- Software di sistema
- Risorse o Periferiche

La figura 2 schematizza la ripartizione in strati della piattaforma MHP, mettendo in evidenza l'interfaccia che consente l'interconnessione tra terminale e applicazioni, e che, nel contempo, separa e rende indipendenti le realizzazioni e, in certa misura, anche l'evoluzione delle due parti.

#### 2.2.1 Applicazioni

Secondo la definizione adottata dal TAM, una *applicazione* è la realizzazione funzionale di un servizio interattivo composto da moduli software che richiedono l'attivazione di componenti hardware e software del terminale MHP.

Le applicazioni MHP possono essere *residenti, installabili*, o *scaricabili*. La prima categoria di applicazioni attiene a funzionalità eventualmente offerte in modo esclusivo da un terminale di modello e marca specifici. Tali applicazioni costituiscono un fattore di differenziazione tra i terminali MHP, ed un motivo di competizione commerciale tra i loro costruttori ed offerenti, e dunque esulano dal contesto proprio dello standard.

Le altre due categorie di applicazioni hanno in comune la qualità di poter essere offerte agli utenti dei terminali da soggetti terzi rispetto ai costruttori degli stessi, e tipicamente saranno realizzate ed utilizzate dagli operatori dei servizi televisivi per caratterizzare la loro offerta.

Ogni applicazione serve a presentare e realizzare un servizio all'utente del terminale MHP. Essa è specifica dell'offerta, altrimenti detta *bouquet*, di almeno un operatore, e può essere ulteriormente collegata ad un singolo canale televisivo, ad un singolo programma o a parte di esso, grazie ad una perfetto meccanismo di sincronizzazione tra applicazioni software e contenuti audio-video. Tale meccanismo si avvale di estensioni di una specifica DVB relativa alle trasmissioni digitali – specifica DVB-SI [2], e della previsione nello standard MHP di strumenti opportuni. Questo concetto sarà approfondito in seguito; a questo livello, è sufficiente ribadire che, oltre alla suddivisione in categorie già enunciata, proprio la sincronizzazione con i contenuti audio-video crea un'ulteriore partizione trasversale delle applicazioni MHP in due distinte famiglie. Il progetto MHP contempla infatti servizi interattivi – e quindi applicazioni – autonomi dai contenuti audio-video dei programmi televisivi, quali ad esempio giochi o servizi informativi, e servizi collegati ai contenuti audio-video, quali appunto l'EPG. Come vedremo nel capitolo 3, parte del processo produttivo delle applicazioni MHP può essere comune alle due famiglie, ma, dal punto di vista del fornitore del servizio, orientarsi verso l'una o l'altra tipologia di applicazioni determina effetti sulle strutture produttive esistenti, e richiede condizioni al contorno, tra loro anche molto differenti.

Le applicazioni scaricabili, e un sottoinsieme delle applicazioni installabili, devono essere basate su tecnologia *pure Java*, ovvero non possono richiedere per il loro funzionamento alcun requisito addizionale al terminale sul quale sono scaricate (o installate), fuorché la conformità allo standard MHP. Questa è l'unica tipologia di applicazioni realmente interoperabile rispetto al terminale di fruizione, e per questo motivo tali applicazioni vengono denominate anche, con esplicito richiamo al mandato ricevuto dal DVB e al ruolo svolto dalla tecnologia Java™ per tradurre in realtà tale mandato, *applicazioni DVB-J*.

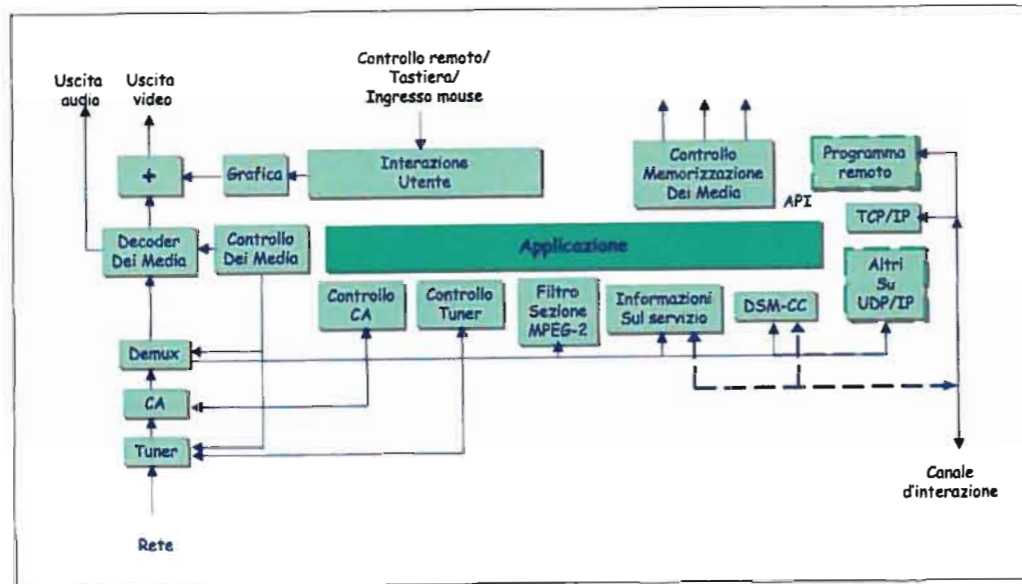
#### 2.2.2 Software di sistema, Risorse e Periferiche

Il *software di sistema* del terminale MHP ha accesso a flussi contenenti informazioni audio-video e dati trasmessi secondo gli standard MPEG e DVB. Controlla inoltre tutti i moduli hardware – tuner, demux, modulo di accesso condizionato, processore, memoria RAM e Flash, hard-disk,... – altrimenti detti *risorse*, e le interfacce verso l'utente e verso l'esterno – telecomando, modem, lettore smart-card, lettore DVD,...– altrimenti dette *periferiche*, di cui ciascun terminale MHP può essere dotato. Da notare che la dotazione appena descritta è ipotetica, difettiva e varia per modello e marca del terminale.

Il software di sistema si compone di uno strato, detto HAL – Hardware Abstraction Layer – che gestisce le interconnessioni a livello fisico / elettrico con risorse e periferiche e di uno strato software, detto sistema operativo, che garantisce integrità e funzionalità del terminale. Interna al software di sistema, e parte integrante di esso, è la *Java Virtual Machine* – Java VM. Trattasi di una componente software, specifica della tecnologia Java™, che realizza un livello di astrazione di risorse e periferiche del terminale molto superiore a quanto possibile mediante l'HAL; al punto che, per quanto concerne le applicazioni software, tutti i terminali dotati della Java VM diventano tra loro indistinguibili, se non in termini di prestazioni. Questo perché la Java VM espone verso le applicazioni, realizzate a loro volta in linguaggio Java, interfacce funzionali e procedurali identiche per ogni terminale MHP, indipendentemente da chi ne sia il costruttore o il fornitore. L'insieme di queste interfacce software viene genericamente denominato Application Programming Interface – in sigla API (vedi riquadro sottostante). L'interfaccia API MHP costituisce l'architrave dello standard e dell'intero progetto.

#### API

La maggior parte dei linguaggi di programmazione utilizzati per sviluppare applicazioni software prevede l'utilizzo di blocchi di istruzioni, denominati "procedure" o "funzioni", che svolgono elaborazioni dal significato logico pressoché autonomo (i.e. la procedura che calcola l'elevamento a potenza di un numero, oppure la funzione che estrae una sequenza di pacchetti MPEG con un certo PID da uno stream). Tali blocchi di istruzioni possono essere interni al codice dell'applicazione, oppure, specie se svolgono elaborazioni che coinvolgono periferiche o risorse della macchina, o anche sono di uso comune per più applicazioni, possono essere integrate nel sistema operativo, o

**Fig. 3 - Schema a blocchi del terminale MHP: sono visibili i vari componenti h/w e s/w e l'applicazione in esecuzione. La linea scura intorno all'applicazione rappresenta l'interfaccia standard MHP tra componenti del terminale e applicazione.**

installate come pacchetti software o "librerie" condivise. In questo caso, per poterle utilizzare, coloro che sviluppano le applicazioni devono conoscere la modalità per fornire alla funzione i dati in ingresso e per ottenere i risultati dell'elaborazione. Questo insieme di informazioni, specifico di ogni funzione, va sotto il nome di "prototipo funzionale".

### 2.2.3 API MHP'

Obiettivo irrinunciabile del progetto MHP è che l'integrità della presentazione verso l'utente prescelta dal fornitore di un servizio e l'insieme delle funzionalità dell'applicazione che pone in essere tale servizio siano garantite indipendentemente dalla particolare realizzazione della piattaforma terminale, purché conforme allo standard. Questo obiettivo si raggiunge mediante l'esposizione verso l'applicazione di un insieme di interfacce software – denominate API – comune e identico per tutte le implementazioni del terminale MHP. L'interfaccia API MHP è chiaramente visibile in figura 3, come la linea spessa che divide l'applicazione dalle periferiche e dal software di sistema.

Le applicazioni, scritte in linguaggio Java, utilizzano le API per accedere al software di sistema che controlla le risorse del terminale MHP. Per poter utilizzare le API, la tecnologia Java™ prevede che le applicazioni, o meglio coloro che le realizzano, ne debbano conoscere i *prototipi funzionali*, che sono elencati e descritti nella specifica tecnica MHP.

L'ultima affermazione implica almeno due importanti conseguenze, su cui vale la pena di soffermarsi. La prima è che la realizzazione di applicazioni MHP richiede competenze informatiche nel settore dei linguaggi ad alto livello di astrazione, come Java, ed esperienza nella programmazione software: un profilo professionale sinora largamente minoritario nell'industria radio-televisiva.

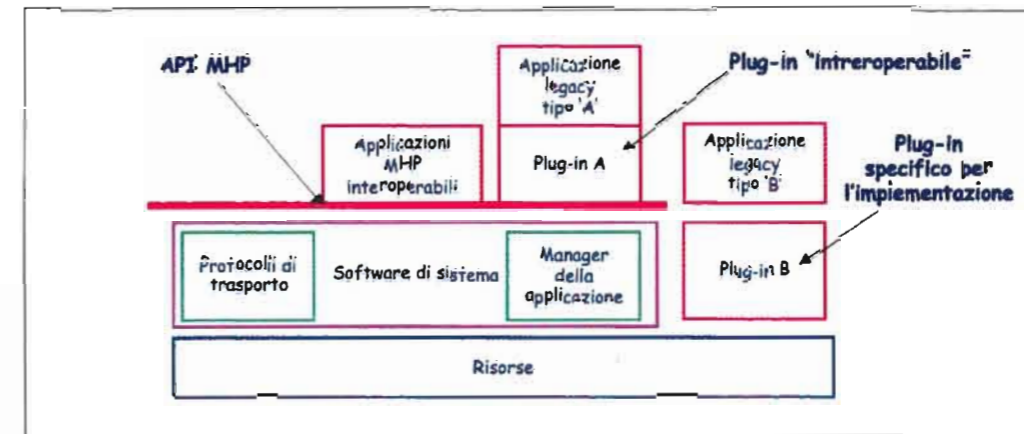
La seconda conseguenza – all'apparenza banale, ma assai importante – è che si può parlare di applicazioni MHP solo a decorrere dal rilascio dello standard, essendo necessaria la sua conoscenza per realizzarle; ma il progetto MHP deve inserirsi in un mercato già esistente, popolato in Europa e nel mondo di operatori che già offrono –







**Fig. 4 - Schema dell'architettura software del terminale MHP: sono visibili le due tipologie di plug-in previste dalla specifica, e viene messo in evidenza il loro differente ambito di utilizzo.**

sui canali digitali via satellite, via etere o cavo, nonché via Internet – molteplici servizi realizzati nella maggior parte dei casi con tecnologie diverse da Java™, e spesso proprietarie.

Il progetto MHP ha affrontato sin dagli albori queste due problematiche, ed ha predisposto soluzioni adeguate. La prima verrà descritta nel capitolo relativo a *authoring* delle applicazioni MHP. Ora ci soffermiamo sulla seconda.

### 2.3 Plug-in

Quando un nuovo prodotto entra in un mercato popolato da prodotti preesistenti, o disciplinato da regole, prassi o standard che si propone di modificare, ma che sono vigenti al momento della propria introduzione, esso deve risolvere il problema - ancorché solo transitorio – della propria compatibilità con i prodotti, le regole o prassi esistenti.

Nel settore radio-televisivo un problema simile si è avvertito con l'introduzione del colore: le nuove trasmissioni dovevano essere visibili anche sui vecchi apparecchi in bianco e nero; e la soluzione adottata doveva superare una fase di transizione che – come poi in effetti è accaduto – poteva durare anni.

Nell'industria informatica, dove i tempi di aggiornamento della tecnologia sono assai più rapidi, il problema si pone pressoché quotidianamente. La soluzione tipicamente adottata prende il nome di *plug-in*.

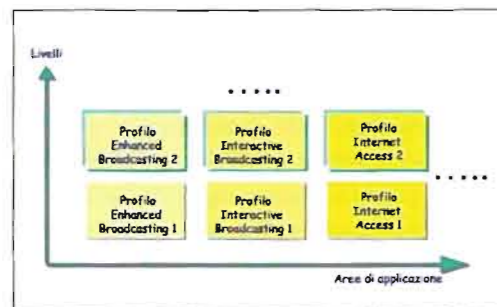
Nel caso del progetto MHP, il plug-in è un componente software da installare nel terminale, ed il suo ruolo è di rendere compatibili i prodotti di una tecnologia preesistente (ad esempio le applicazioni MediaHighway) con la nuova piattaforma, in modo che quella tecnologia non subisca un'obsolescenza immediata, e che l'introduzione dello standard MHP non ne sia ostacolata. Ogni plug-in è specifico della tecnologia, specie se trattasi di tecnologia proprietaria, di cui si vuole garantire la compatibilità.

La figura 4 schematizza l'architettura del terminale MHP e mostra il ruolo de(i) plug-in, che consentono al terminale di mettere in esecuzione, oltre alle applicazioni DVB-J (applicazioni MHP interoperabili), anche altre tipologie di applicazioni. Sono previste due tipologie di plug-in: plug-in A e plug-in B. Il plug-in di tipo A si applica per le tecnologie più "recenti", ed è costituito da uno strato software che converte l'interfaccia esposta dal terminale MHP in un formato comprensibile per

applicazioni non-MHP. Il plug-in di tipo B si applica invece per operare un bypass completo dell'architettura MHP, e consentire alle applicazioni che ne abbiano necessità, l'accesso diretto, o, al limite, tramite l'HAL, a risorse e periferiche del terminale.

Fondamentale differenza tra i due tipi di plug-in è costituita dal fatto che, al pari di un'applicazione MHP, il plug-in di tipo A può essere realizzato e fornito da molteplici soggetti, mentre il plug-in di tipo B deve essere fornito dal costruttore del terminale, ed in pratica si colloca in modo complementare rispetto all'MHP. Nel senso che ciò che rende questo strato software di interfaccia plug-in rispetto all'MHP è solo la convenzione terminologica qui adottata, ma è perfettamente consistente un punto di vista duale, ovvero vedere l'MHP come plug-in di tipo B di qualche altra tecnologia.

Questo discorso diventa meno astratto, e anzi assume un concreto interesse, se, invece di riferirci ai Set-Top-Box, o in genere a strumenti specificamente progettati per la ricezione di servizi radio-televisivi, ci concentriamo sulle possibili applicazioni del progetto MHP nel settore Personal Computer, e su come realizzare la piattaforma MHP su PC; oppure, in definitiva, sulla fattibilità di un terminale MHP commerciale effettivamente in grado di adempiere a tutte le funzioni d'uso, e quindi di essere *sostitutivo*, nei confronti del Set-Top-Box e del Personal Computer.

**Fig. 5 - Profili di terminali conformi allo standard MHP, determinati sulla base delle aree di mercato a cui sono rivolti, e dei livelli di costo / prestazioni previsti. Al momento, lo standard MHP contempla sei profili, ma ulteriori profili potranno essere aggiunti in versioni future.**

Come possibile punto di arrivo del processo di convergenza tra industria radio-televisiva e industria informatica presentato nell'introduzione, questo sviluppo del progetto MHP, che si concretizzerà con il rilascio di una nuova versione dello standard, prevista per il prossimo autunno, sarà oggetto di uno specifico articolo. Per ora, è comunque possibile anticipare che il Personal Computer possiede una versatilità intrinseca che il progetto MHP intende sfruttare per rendere possibili implementazioni puramente software dello standard, che siano applicabili sui PC di più recente produzione senza bisogno di alcun intervento sull'hardware.

### 2.4 I profili

Lo standard MHP definisce tre principali aree di interesse commerciale relativamente alle tipologie di applicazioni supportate dal terminale:

- Enhanced Broadcasting (EB);
- Interactive Broadcasting (IB);
- Internet Access (IA);

ed enumera diversi livelli evolutivi delle dotazioni e funzionalità del terminale, che dovrebbero corrispondere a prezzi e prestazioni crescenti.
Il documento di specifica prevede che ulteriori aree applicative possano essere contemplate in versioni successive dello standard, e parimenti la numerazione dei livelli dovrebbe essere destinata a crescere, in conseguenza della progressiva introduzione di nuove generazioni di terminali MHP che andranno a sostituire i modelli meno recenti. Al momento due livelli sono presi in considerazione, come si può vedere in figura 5.

Dal momento che il documento sancisce che "non tutte le implementazioni dello standard debbano supportare tutte le aree applicative", si potranno trovare in commercio terminali MHP realizzati con funzionalità specifiche di un profilo rivolto ad una particolare area di mercato, mentre all'interno di ciascuna area si potrà avere una segmentazione dei prodotti corrispondente alla ripartizione dello standard in livelli.

La figura 6 mostra quali sono le principali tecnologie che i terminali conformi a singoli profili dello standard MHP dovranno supportare, e schematizza quale rapporto esiste tra i differenti profili, visto che il profilo IB 1 è un superset del profilo EB 1, e che alcune funzionalità sono comuni a più profili.

La conformità del terminale ad uno specifico profilo impone la dotazione delle risorse e periferiche, nonché delle funzionalità previste per quel profilo.

#### 2.4.1 Funzionalità e dotazioni

Nel caso del profilo EB 1, i terminali conformi a questo profilo devono essere dotati di accesso al canale di trasmissione *broadcast*, mentre la presenza di un eventuale canale di ritorno, per esempio via modem, è considerata opzionale, e in ogni caso la gestione di questo canale di comunicazione secondario è definita solo in profili di ordine superiore. Il profilo EB 1 consente di allestire servizi che combinano la trasmissione digitale di flussi audio/video con quella di applicazioni software *scaricabili*. Tali servizi possono permettere una fruizione innovativa e interattiva dei contenuti messi in onda, in quanto le scelte effettuate dall'utente – sia in modo autonomo, sia su suggerimento o richiesta dell'applicazione MHP in esecuzione – incidono sul formato di presentazione dei contenuti. In aggiunta alle dotazioni previste per il profilo EB 1, il profilo IB 1 richiede la presenza del canale di ritorno via modem, e fornisce il supporto per una vasta gamma di servizi

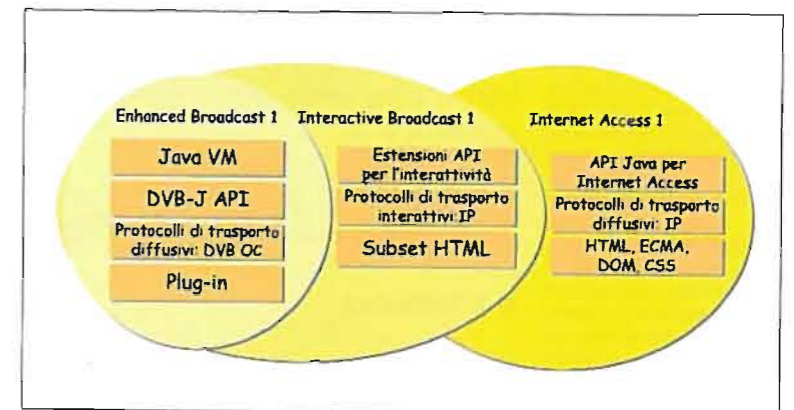



**Fig. 6 - Funzionalità e tecnologie implementate per i tre profili di terminale. Intersezione ed inclusioni mostrano i rapporti esistenti tra i profili.**

interattivi, associati o indipendenti rispetto ai contenuti trasmessi via canale broadcast. L'interattività non è limitata in un contesto locale alla piattaforma, come previsto dal profilo EB 1, ma contempla interazioni tra il terminale e server remoti, e consente la trasmissione, anche via canale broadcast, di contenuti indirizzati ad un terminale *specifico*: contenuti che dunque, pur se ricevuti da tutti i terminali, sono accessibili solo da parte di un insieme omogeneo – anche ristretto ad uno solo – di essi.
Terminali conformi a questo profilo potranno altresì offrire agli utenti servizi di navigazione Internet, E-mail, o E-commerce: nell'ambito del profilo IB 1, tali servizi si caratterizzeranno tuttavia per la peculiarità di non essere realizzati mediante applicazioni MHP scaricabili, ma mediante applicazioni residenti, a loro volta implementate in modo *proprietario*, ipoteticamente quale fattore di differenziazione commerciale dei prodotti, dai costruttori o fornitori dei terminali medesimi.

Il profilo IA 1, che sarà completamente specificato solo nella prossima versione dello standard MHP, dovrebbe invece segnare un primo punto fermo nel processo di convergenza tra TV e PC. Oltre a contemplare gran parte delle funzionalità dei due profili descritti nei paragrafi precedenti, esso garantirà accesso a tutti i servizi

Internet, eventualmente armonizzando e uniformando quanto eventualmente già offerto come estensione proprietaria del profilo IB 1.

I profili di livello 2 saranno specificati in future versioni dello standard MHP.

## 3. L'Authoring

Come accennato nel paragrafo 2.2.3, l'offerta di nuovi servizi basati sullo standard MHP richiede lo sviluppo di applicazioni software basate su tecnologia Java™. La padronanza di tale tecnologia oggi è esclusivamente in possesso di personale altamente specializzato. Dal momento che gli operatori radio-televisivi raramente dispongono di risorse umane con questo tipo di professionalità, né intendono allocare investimenti ingenti in mancanza di una chiara percezione dei ritorni che ne potrebbero percepire, l'impiego della tecnologia Java™ determina quindi la creazione di un mercato sussidiario per la produzione di applicazioni MHP.
Tale mercato può consentire agli operatori radio-televisivi l'adozione di comuni politiche di outsourcing, che però comportano il rischio di perdere il controllo del servizio appaltato in realizzazione e gestione a terzi, oppure di modelli di produzione più specializzati, che prevedono la partizione dell'applicazione software in moduli distinti, e la suddivisione del processo produttivo in fasi successive, caratterizzate da requisiti e che coinvolgono attori tra loro anche notevolmente diversi. Il prossimo paragrafo descriverà succintamente uno di questi modelli di produzione; maggiori approfondimenti sono invece disponibili in [6].

### 3.1 La "catena di montaggio" del software MHP

Il modello "catena di montaggio" assume che l'applicazione software utilizzata per realizzare un certo servizio possa essere concepita come:

- strumento di presentazione di contenuti audio/video e dati aggiornati dinamicamente (ad esempio informazioni di EPG, aggiornamenti sul traffico, quotazioni di borsa,...);
- assemblaggio di sub-componenti software conformi allo standard MHP che adempiono a funzioni elementari e sono d'uso comune a diverse tipologie di applicazione (ad esempio il "pulsante" da visualizzare sullo schermo, il "canvas" in cui introdurre un'immagine fissa, un logo, il player di un filmato MPEG,...);
- caratterizzazione di un *template*, o modello generale, di applicazione che può essere utilizzato in diverse occorrenze (ad esempio il template di un'applicazione organizzata a pagine può essere usato come base sia per un'applicazione di EPG, sia per un portale Web,...).

In base a queste assunzioni, è possibile suddividere la produzione in fasi successive, proprio come se si trattasse di una catena di montaggio per il software. In figura 7 è visibile uno schema che riassume questa suddivisione, mentre la tabella 1 descrive il processo produttivo come sequenza di sei operazioni.

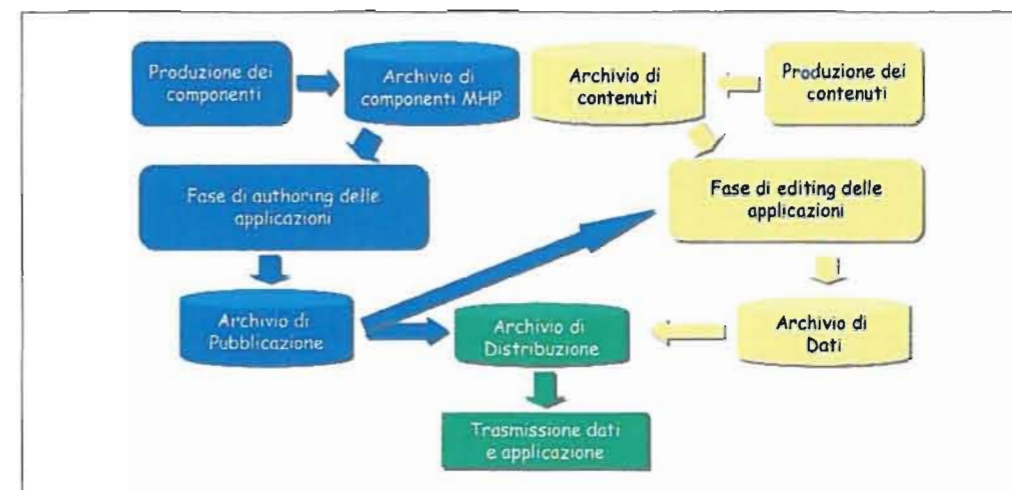
Il concetto che qui è importante sottolineare è che questa suddivisione consente di sfruttare, nel dimensionamento delle strutture produttive, la peculiarità secondo cui l'impiego di risorse ad elevata professionalità informatica è richiesto solo nella prima fase del processo produttivo, mentre delle fasi successive può farsi carico personale con competenze maggiormente affini a quelle tradizionalmente allocate da parte di un operatore televisivo (i creativi, tecnici audio e video, giornalisti,...). Questa suddivisione consente inoltre, come valore aggiunto, di disporre di *archivi* di componenti e template di applicazioni riutilizzabili più volte, ed anche eventualmente rivendibili ad altri operatori; o ancora, di procurarsi da terze parti tali archivi, appaltando all'esterno solo una parte, quella meno strategica, della realizzazione di servizi MHP.




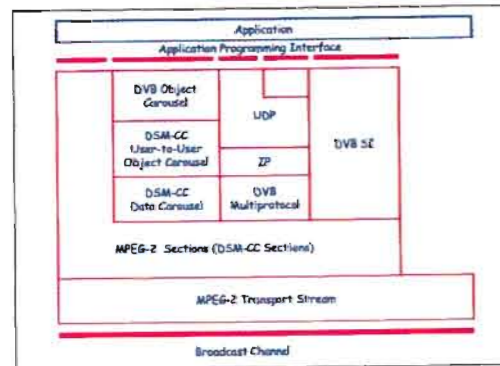

**Fig. 7 - Architettura dell'ipotetica catena di produzione e distribuzione dei servizi MHP offerti dalla RAI. Sono visibili le fasi di authoring (color azzurro) ed editing - caratterizzazione (color giallo) delle applicazioni. Dall'archivio di pubblicazione, le applicazioni possono essere direttamente distribuite, oppure sottoposte a una o più operazioni di editing.**

### 3.2 Sincronizzazione tra applicazioni e contenuti

Il processo descritto nel paragrafo precedente è comune sia alle applicazioni autonome dai contenuti audio-video, così come definite nel paragrafo 2.2.1, sia a quelle ad essi collegate. La seconda famiglia di applicazioni richiede tuttavia una specializzazione ulteriore del processo produttivo, ed, in riferimento alla tabella 1, si può affermare che il passo 5 - caratterizzazione dell'applicazione - diventa assai più complesso. Dal punto di vista logico, in questa fase occorre infatti definire un legame spazio-temporale tra software applicativo e contenuti audio-video; il che, tradotto in termini pratici, significa che occorre predisporre un qualche meccanismo che consenta di segnalare in tempo reale all'applicazione quando - e eventualmente in quale area dello schermo televisivo - mettere in atto un certo comportamento in corrispondenza dell'occorrenza di un particolare contenuto audio-video. Il che rende possibili, ad esempio, servizi di pubblicità interattiva.

Lo standard MHP offre almeno due meccanismi per effettuare questa segnalazione, il primo basato sull'utilizzo delle tabelle e del protocollo DVB-SI [2], il secondo, più raffinato, che fa uso del protocollo DSM-CC [3]. Sorvolando sulle differenze tra i due meccanismi, a questo livello preme sottolineare come in ogni caso le operazioni necessarie ad effettuare la sincronizzazione tra applicazioni e contenuti audio-video devono essere messe naturalmente in atto in fase di produzione, e che sono queste operazioni a fare dell'insieme eterogeneo di software e contenuti audio-video un prodotto nuovo ed omogeneo. Un prodotto che può essere "montato", così come già avviene oggi per film e serie televisive, oppure "confezionato" in tempo reale da un banco di regia più evoluto di quelli attualmente in uso, quando si tratta di trasmissioni in diretta.
In entrambi i casi, l'insieme delle operazioni di sincronizzazione effettuate è volto a creare delle informazioni aggiuntive che descrivono l'associazione logica tra software e contenuti audio-video. Tali informazioni aggiuntive rappresentano una particolare tipologia di ciò che oggi viene comunemente definito metadata.

I metadata sono indici, criteri di classificazione, percorsi di localizzazione, strutture

**Fig. 8 - Lo standard MHP prevede diverse metodologie per la trasmissione del software.**

dati necessarie a sincronizzare o descrivere software e contenuti; sono, insomma, "informazione sull'informazione": informazione a carattere sintetico, quando tende ad agevolare l'accesso a ciò su cui informa, ed a carattere analitico, quando invece tende a dettagliare o a fornire molteplici punti di vista.

In ogni caso, i metadata rivestono un ruolo centrale sia per il progetto MHP, sia in termini più generali per lo sviluppo della convergenza tra mercati e settori distinti, in quanto essa necessita di meccanismi associativi; non è quindi un caso che negli ultimi tempi siano proliferati formati e impieghi. Oggi, nel mondo, è in corso un processo di razionalizzazione dei metadata, il cui primo obiettivo è individuare o produrre uno standard per la sintassi, e, successivamente, per la semantica, dei metadata. Tale processo, il cui attore principale è il Forum TVAnytime [7], sarà oggetto di un prossimo, specifico articolo.

### 3.3 Trasmissione broadcast di software MHP

Una volta realizzata, sia seguendo il modello descritto nel paragrafo 3.1, sia qualsivoglia altro, l'applicazione MHP deve essere "consegnata" al terminale ricevente. Lo standard MHP contempla, soprattutto nei profili più evoluti, diverse modalità per adempiere a questa necessità, tra le quali si possono citare connessioni punto-punto tra terminale e fornitore del servizio, oppure installazione remota del software sul terminale. In questo articolo prendiamo in esame la modalità di base, ovvero la trasmissione del software su canale broadcast.

Come mostra la figura 8, lo standard MHP prevede diverse metodologie per la trasmissione del software, ognuna delle quali realizza un differente compromesso tra livello di astrazione e possibilità di specializzazione della soluzione adottata. La metodologia preferenziale, che consente il maggior livello di astrazione, utilizza il protocollo DSM-CC Object Carousel [3]. Semplificando, questa metodologia consente di rendere completamente trasparente al software applicativo il sistema di trasmissione: essa rende possibile ricostruire localmente al terminale MHP l'intera struttura dati definita in fase di authoring dell'applicazione, senza introdurre quindi appesantimenti dovuti alla specificità del canale di trasmissione effettivamente utilizzato.

## 4. Il contributo della Rai

La Rai è membro del Consorzio DVB e partecipa alle riunioni periodiche, direttive e tecniche, degli organismi che formano il Consorzio tramite propri rappresentanti con diritto di voto.
La Rai ha delegato la propria rappresentanza in seno al DVB alla Direzione Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica (CRIT).

La Rai ha apportato il proprio contributo alla formulazione del progetto MHP ed alla definizione dello standard, fornendo il punto di vista e l'esperienza di un primario broadcaster pubblico, nonché i risultati delle sperimentazioni svolte presso i laboratori del Centro da un apposito gruppo di lavoro. L'attività di questo gruppo si è concentrata nello sviluppo di applicazioni scaricabili atte a realizzare basilari servizi MHP, di profilo EB 1, nonché nella realizzazione di tutti i componenti software necessari alla diffusione di questi servizi via canale broadcast.

Le applicazioni sviluppate presso CRIT, di cui in figura 9 e in figura 10 sono visibili slide dimostrative, hanno consentito di convalidare i primi prototipi di terminali MHP, in stretta cooperazione con le aziende costruttrici; hanno permesso di sviluppare un know-how di alto livello, di cui la Rai potrà eventualmente avvalersi in fase di realizzazione di servizi industriali, o di orientamento delle scelte strategiche sul mercato; hanno infine contribuito, grazie alla partecipazione di Rai ad importanti eventi internazionali, tra cui IFA '99 ed IBC 2000, nel corso dei quali ne sono state mostrate le funzionalità avanzate, ad accrescere la fiducia da parte di molti operatori economici nella capacità dello standard MHP di affermarsi sul mercato, e quindi nella redditività degli investimenti effettuati su di esso.

Presso CRIT è stato inoltre sviluppato il prototipo industriale di un sistema di produzione per applicazioni MHP secondo il modello descritto nel capitolo 3.1; tale prototipo consta sia del tool di sviluppo, sia di un sistema di trasmissione del software via Object Carousel DSM-CC; sono stati inoltre presi in esame, per analisi comparative, prototipi di sistemi analoghi, prodotti da società indipendenti e resi anche disponibili in versione dimostrativa sul Web. Gli studi condotti in questo campo, uniti alla ormai vasta esperienza sviluppata da CRIT nel progetto MHP, costituiranno la base del contributo che CRIT ritiene di poter apportare in ambito al comitato EBU/P/AMM, di recente costituzione in seno all'EBU. Questo comitato, che si occuperà di considerare l'impatto dell'introduzione della piattaforma MHP nelle strutture di produzione radio-televisiva, ha tra i suoi compiti quello di fornire all'industria di settore le linee guida per la progressiva migrazione verso la nuova tecnologia.

**Fig. 9 - Esempi di schermate dell'applicazione MHP che implementa un servizio di EGP evoluta sviluppata presso CRIT.**

La RAI sta infine avviando una campagna di sperimentazione che prevede la trasmissione in digitale terrestre e via satellite di servizi televisivi rivolti a prototipi di Set-Top-Box MHP. Mentre la sperimentazione della televisione digitale terrestre (DTT) riveste anche una valenza autonoma dal progetto MHP, in quanto prepara la progressiva migrazione in digitale delle attuali trasmissioni analogiche, di particolare carattere innovativo saranno i nuovi servizi trasmessi via satellite: in virtù della composizione di software e contenuti audio-video, resa possibile dallo standard e dai risultati dell'attività di ricerca e sviluppo condotta presso CRIT, essi consentiranno la fruizione da ogni parte d'Italia delle principali edizioni dei 20 telegiornali regionali.

## 5. Prospettive future

Bozze preliminari della nuova versione dello standard, numerata 1.1, sono in circolazione tra gli addetti ai lavori. Tale versione contempla, come accennato nel capitolo 2, la definizione esaustiva del profilo IA 1, nonché alcune estensioni degli altri profili, e modifiche rese necessarie dalle risultanze

**Fig. 10 - Esempi di schermate dell'applicazione MHP di portale Web sviluppata presso CRIT.**

sperimentali emerse con le prime implementazioni della standard. A questo particolare riguardo, essa rifletterà infatti l'attività di test e convalida svolta da un gruppo *ad hoc*, appositamente costituito dal DVB, che ha lavorato a stretto contatto con le organizzazioni coinvolte nel pionieristico sviluppo dei primi prodotti e servizi commerciali conformi allo standard MHP.

Sebbene il rilascio ufficiale della nuova versione dello standard sia previsto per l'autunno 2001, probabilmente in simultanea con l'ingresso sul mercato dei primi Set-Top-Box a marchio MHP, è lecito affermare che la generazione successiva di terminali MHP sarà in grado di accedere alla rete Internet con procedure semplificate rispetto al PC, e consterà, o consentirà lo scaricamento, di uno o più browser in grado di presentare i portali di accesso e di offrire navigazione libera sulla rete.

Lo sviluppo della capacità di elaborazione, le tecnologie di miniaturizzazione e fattori legati ad economie di scala, consentiranno poi la realizzazione di *plug-in* MHP – vedi capitolo 2.3 – applicabili a tipologie di terminali profondamente diverse, con particolare attenzione ai terminali mobili.

## 6. Conclusioni

Sebbene l'ultima e definitiva parola sul destino del progetto MHP dovrà essere pronunziata dal mercato, e questo avverrà solo quando prodotti e servizi conformi allo standard saranno proposti al pubblico, sin da ora si può affermare che l'iniziativa intrapresa dal Consorzio DVB nel 1997 ha già centrato alcuni importanti obiettivi.

L'attività svolta dalle organizzazioni coinvolte a vario titolo nella definizione dello standard ha stimolato in misura significativa l'innovazione tecnologica in diversi settori industriali; ha creato una forte aspettativa di mercato, spalancando uno spazio che nuovi prodotti e servizi pensati nell'ottica della convergenza tra telecomunicazioni, intrattenimento ed informatica potranno comunque colmare, con positive ricadute sulla crescita economica ed occupazionale a livello europeo; ha infine dimostrato come l'espansione e l'integrazione dei mercati sia possibile solo a patto di una progressiva armonizzazione delle tecnologie a vario livello utilizzate, e della sostituzione di quanto è proprietario con standard aperti e accessibili secondo una politica di equità.

Il parallelo tra il progetto MHP e l'avvento del colore nella storia della televisione è dunque assolutamente plausibile.

**Ringraziamenti**
Gli Autori desiderano ringraziare i colleghi Andrea Vecchiattini e Michele Visintin per il contributo dato alla preparazione del presente articolo. Desiderano inoltre esprimere la propria gratitudine e stima a tutti i colleghi del Centro coinvolti a vario titolo nel progetto MHP. Menzione particolare meritano infine il dott. Mario Cominetti e l'ing. Alberto Morello, membri degli organismi direttivi del DVB, nonché l'ing. Gino Alberico, per il contributo apportato al progetto, e per l'indispensabile supporto da loro fornito ai colleghi della Rai che hanno lavorato nei comitati tecnici.





**Tabella 1**
**Catena di montaggio del software**

| Passi per la produzione di una applicazione MHP | Livello competenza informatica |
|---|---|
| produzione (o acquisizione) di un archivio di componenti generici, caratterizzabili e riutilizzabili; | ALTO |
| produzione di template di applicazioni affini, per funzionalità e/o per layout grafico, a quella in oggetto; (passo opzionale) | ALTO |
| produzione (o acquisizione) di contenuti AUDIO/VIDEO e dati da associare alle applicazioni; | BASSO |
| produzione (e archiviazione) – authoring – di applicazioni, ex-novo, sulla base di template, o mediante assemblaggio di componenti presenti in archivio; | MEDIO |
| caratterizzazione – editing – dell'applicazione, in tempo reale o modalità differita, con sincronizzazione dei contenuti; | BASSO |
| trasmissione dell'applicazione, caratterizzata just-in-time o reperita in archivio. | BASSO |

Passi necessari per la produzione di un'applicazione MHP, secondo il modello descritto nel capitolo 3.2, e illustrato in figura 7. Tale modello utilizza il supporto di strumenti per l'automazione della produzione di software. Sono messe in evidenza le competenze del personale addetto.

**Bibliografia**

1 – ETSI TS 101 812 V1.1.1 – *Digital Video Broadcasting (DVB); Multimedia Home Platform (MHP) Specification* 1.0, ETSI, April 2000.
2 – EN 300 468 1.3.1 – Digital broadcasting systems for television, sound and data services; Specification for Service Information (SI) in Digital Video Broadcasting (DVB) systems.
3 – ISO/IEC 13818-6 – Information technology – Generic coding of moving pictures and associated audio information: Extensions for Digital Storage Media Command and Control.
4 – M. Cominetti, A. Morello, R. Serafini, *Prospettive per l'introduzione della televisione digitale terrestre in Italia*, Elettronica e Telecomunicazioni, Dicembre 1999.
5 – M. Cane, *Guide Elettroniche ai Programmi secondo la specifica di Diffusione Televisiva Numerica DVB*, Politecnico di Torino, Maggio 1998.
6 – D. Gibellino, *Piattaforma Multimediale Domestica: obiettivi, normativa e proposta di un sistema di produzione per applicazioni televisive*, Politecnico di Torino, Dicembre 2000.
7 – TV Anytime Forum – www.tv-anytime.org

**Abbreviazioni**

API – Application Programming Interface
CM – Commercial Module
DSM-CC – Digital Storage Media – Command and Control
DVB – Digital Video Broadcasting
DVB-J – DVB – Java
DVB-S – DVB – Satellite
DVB-SI – DVB – Service Information
DVB-T – DVB – Terrestrial
EBU – European Broadcasting Union
EBU/P/AMM – EBU/Production/Authoring on Multimedia Content
EPG – Elettronic Programme Guide
HAL – Hardware Abstraction Layer
IDTV – Integrated Digital TV
MHP – Multimedia Home Platform
MPEG – Moving Picture Expert Group
PC – Personal Computer
STB – Set-Top-Box
TM – Technical Module
TAM – Technical Ad-hoc Module
TS – Transport Stream
VM – Virtual Machine

# Modelli di valutazione oggettiva della qualità video: risultati delle prove VQEG

**M. Visca**

ing. Massimo Visca – Rai – Divisione Produzione TV, Centro di Produzione di Torino

Dattiloscritto pervenuto alla Redazione il 22 gennaio 2001

I metodi tradizionalmente usati per la misura della qualità di una immagine televisiva di tipo analogico, sia basati su misure oggettive che soggettive, si dimostrano inadeguati nel caso di sistemi digitali. I metodi oggettivi, basati su segnali di test, non sono infatti in grado di misurare gli artefatti introdotti dagli algoritmi di compressione. Le prove soggettive mantengono invece la loro validità ma il loro costo elevato, in termini di tempo e risorse, le rende inadatte ad affrontare la forte dinamica che caratterizza lo scenario digitale oltre che, ovviamente, ad essere utilizzate per il monitoraggio del servizio. Nasce da queste considerazioni la necessità di sviluppare nuovi metodi di tipo oggettivo in grado di simulare il comportamento dell'osservatore umano. Sebbene alcuni di questi metodi siano già presenti sul mercato, nessuno di essi è attualmente riconosciuto come standard. Il gruppo Video Quality Expert Group (VQEG) è stato formato nel 1997 e si è posto come primo obiettivo quello di valutare le prestazioni dei modelli oggettivi al fine di valutare se sussistessero gli estremi per includere uno o più dei modelli in una Raccomandazione ITU. VQEG ha quindi progettato ed eseguito una campagna di test per confrontare i risultati di prove soggettive con i valori di predizione forniti dai modelli oggettivi; per generare le sequenze di test sono state utilizzate codifiche comprese tra 768 kb/s e 50 Mb/s. L'articolo riassume la metodologia seguita nel corso dell'esperimento ed i principali risultati ottenuti.

**MODELS FOR OBJECTIVE EVALUATION OF VIDEO QUALITY: RESULTS OF VQEG TESTS** – Traditional, analogue objective methods, while still necessary, are not sufficient to measure the quality of digitally compressed video systems. Some issue that arise with subjective assessment include the cost of conducting the evaluation and the fact that these methods cannot easily be used to monitor video quality in real time. Thus, there is a need to develop new objective methods utilising the characteristics of the human visual system. While new objective methods have been developed, there is to date no internationally standardised method. The Video Quality Expert Group (VQEG) was formed in 1997 to address video quality issues. The first task undertaken by VQEG was to provide a validation of objective video quality measurement methods leading to Recommendations in both the Telecommunications (ITU-T) and Radiocommunication (ITU-R) sectors of ITU. To this end, VQEG designed and executed a test program to compare subjective video quality evaluations to the predictions of a number of proposed objective measurements method for video quality in the bit rate range of 768kb/s to 50 Mb/s. The following paper presents the *framework* of the test and the results of the evaluation activity.

## 1. Introduzione

L'utilizzo delle tecniche di compressione delle immagini, ormai ampiamente diffuse nell'ambiente televisivo tanto nel processo produttivo, quanto nelle catene di contribuzione e distribuzione, rende sempre più difficile per il gestore garantire la qualità finale del prodotto. Questa difficoltà nasce da molteplici fattori.

In primo luogo, i sistemi di compressione digitale introducono una serie di artefatti la cui natura è completamente diversa da quella dei disturbi tipici del segnale analogico e che, quindi, le metodologie tradizionali non sono in grado di misurare. Inoltre, l'introduzione di un apparato digitale in una catena analogica può talora nascondere insidie non semplicemente valutabili considerando semplicemente le prestazioni dell'apparato digitale visto come unità isolata.

In secondo luogo, lo scenario è ulteriormente complicato dal fatto che è ormai presente sul mercato un numero elevato di apparati basati su algoritmi di compressione teoricamente simili, ma che possono garantire, in realtà, prestazioni anche molto diverse.

Infine, se si considera che il numero di canali messi in onda aumenta in modo quasi frenetico, basti pensare al proliferare dei canali tematici, e che quindi risulta impossibile il monitoraggio della qualità basato sulla presenza di un operatore, risultano chiari i motivi che alimentano le preoccupazioni di chi deve garantire la qualità finale al cliente.

Fino ad oggi la qualità delle immagini televisive è stata valutata utilizzando o metodologie basate su segnali di test, come per esempio i segnali ITS, o tramite le cosiddette "prove soggettive", basate sull'idea di sottoporre al giudizio di un gruppo di osservatori alcune sequenze, seguendo un protocollo sperimentale standardizzato dall'ITU (International Telecommunication Union) nella Racc. 500 [1].

È evidente che le prove soggettive, costose in termini di tempo e risorse, non possono essere usate per valutare la pletora di algoritmi di compressione che vengono continuamente proposti né, tantomeno, per effettuare il monitoraggio del servizio.





Da tutte le considerazioni esposte risulta evidente come sia necessario sviluppare delle metodologie in grado di fornire un'indicazione della qualità di una immagine in modo automatico, cioè senza l'ausilio di alcun osservatore, e possibilmente, in tempo reale. Tali metodologie vengono genericamente definite "metodi oggettivi".

L'esigenza è stata recepita dall'industria, che già oggi commercializza apparati progettati per valutare il degrado di una sequenza televisiva. Fino ad oggi non erano stati condotti test indipendenti per valutare in modo sistematico le prestazioni di questi modelli e gli unici risultati in tal senso erano quelli presentati dagli stessi costruttori.

Il gruppo VQEG (Video Quality Expert Group) [2] ha condotto un'analisi approfondita per valutare le prestazioni dei modelli proposti da dieci istituti di ricerca e costruttori noti a livello mondiale.

Questo articolo, dopo una breve classificazione dei metodi oggettivi, descrive il lavoro svolto da VQEG ed i risultati ottenuti.

## 2. Metodi oggettivi per la valutazione della qualità video

I metodi oggettivi per la valutazione della qualità delle immagini vengono classificati, secondo una terminologia diffusa anche se non ufficiale, secondo un criterio basato sul tipo di informazioni di cui gli stessi necessitano per effettuare la misura. In particolare, come riassunto anche in figura 1, vengono definite le seguenti classi:

**"Double Ended"**: si tratta di modelli basati sull'idea di calcolare la differenza tra l'immagine "originale" e quella "degradata", nel seguito definita immagine "differenza" e che rappresenta per definizione il degrado introdotto, e di valutarne la visibilità utilizzando modelli più o meno sofisticati del sistema di visione umano.

Modelli di questo genere possono quindi trovare applicazione solo negli scenari in cui il segnale originale sia disponibile, per esempio in laboratorio per la valutazione della qualità di un processo di codifica, ma ovviamente non possono essere utilizzati in tutti gli scenari legati al monitoraggio di un segnale ricevuto, dove per definizione il segnale originale non risulta disponibile.

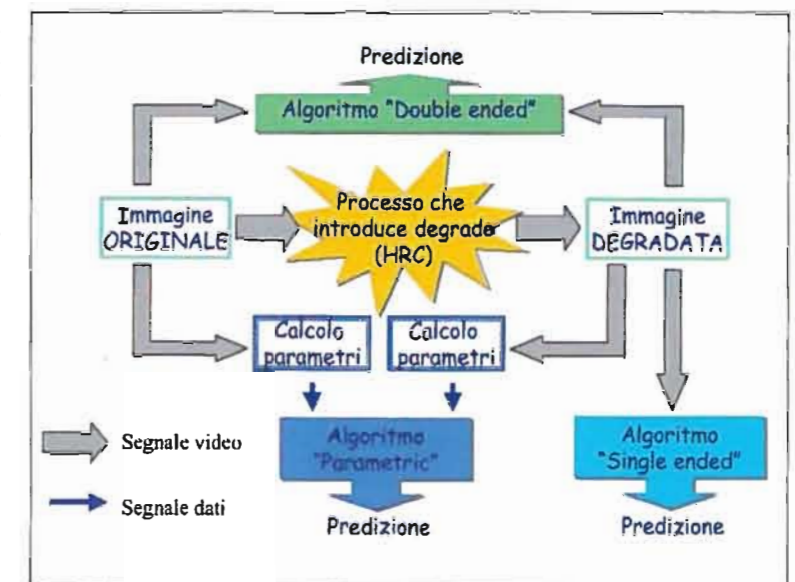



**Fig. 1** - Metodi oggettivi per la valutazione della qualità video

**"Parametrico o Feature Extraction"**: a questa classe appartengono i modelli basati sull'idea di calcolare, separatamente sull'immagine originale e su quella degradata, un insieme di parametri che si suppongono rappresentativi di determinate caratteristiche delle immagini stesse come, per esempio, il "dettaglio" presente nell'immagine. Il confronto tra i due insiemi di parametri, opportunamente elaborato tramite funzioni di peso, definisce il degrado subito dall'immagine. Modelli di questo genere possono trovare applicazione in tutti quegli scenari in cui sia possibile allocare nel canale di trasmissione un flusso dati su cui trasmettere i parametri estratti sul segnale originale, e quindi si candidano per applicazioni legate al monitoraggio della qualità di una catena trasmissiva.

**"Single Ended"**: i modelli appartenenti a questa classe utilizzano solo l'immagine degradata. Solitamente questi modelli definiscono "a priori" i difetti presenti sull'immagine, per esempio la blocchettizzazione dovuta agli algoritmi di compressione DCT-based, e quindi cercano di misurarne l'entità. Modelli di questo genere si candidano ovviamente per tutte le applicazioni legate al monitoraggio della qualità di segnali ricevuti.

La classificazione esposta può considerarsi rappresentativa, in ordine decrescente, anche del livello di prestazioni che è lecito attendersi dai modelli stessi. È infatti ragionevole pensare che modelli basati sull'analisi comparata dell'immagine originale e di quella degradata debbano garantire prestazioni superiori rispetto a quelli basati sulla sola analisi di una serie di parametri calcolati sulle due immagini o, addirittura, sulla sola immagine degradata.

### 3. Criteri per l'analisi delle prestazioni dei modelli oggettivi

Le prestazioni dei modelli sono state valutate da VQEG considerando i tre criteri descritti nel seguito che quantificano, attraverso metriche opportune, i diversi aspetti della capacità di un modello di prevedere i risultati delle prove soggettive.

**"Accuratezza" (Prediction Accuracy)**: è il criterio più ovvio ed esprime la capacita' del modello di predire i valori soggettivi espressi dagli osservatori commettendo un errore "medio" basso. Facendo riferimento alla figura 2, il modello A fornisce una accuratezza della predizione migliore del modello B. Nella stessa figura, secondo una terminologia che sarà usata anche nel seguito, il termine DMOS (Differential Mean Opinion Score) indica il giudizio di qualità espresso dall'osservatore per la singola sequenza, mentre il termine DMOSp indica il valore di predizione calcolato dal modello, che dovrebbe coincidere, nel caso di un algoritmo dalle prestazioni ideali e perfettamente in grado di sostituire un osservatore umano, con il valore DMOS.
L'accuratezza dei modelli è stata valutata utilizzando due metriche basate sul "Coefficiente di Correlazione Lineare di Pearson". In particolare, la metrica 1 calcola il coefficiente di correlazione tra i valori soggettivi del singolo osservatore ed i valori oggettivi predetti dai modelli, mentre la metrica 2 utilizza i valori soggettivi mediati su tutti gli osservatori. Considerando che le due metriche, ai fini del presente articolo, differiscono per aspetti marginali, nel seguito verranno riportati solo i risultati relativi alla metrica 2.

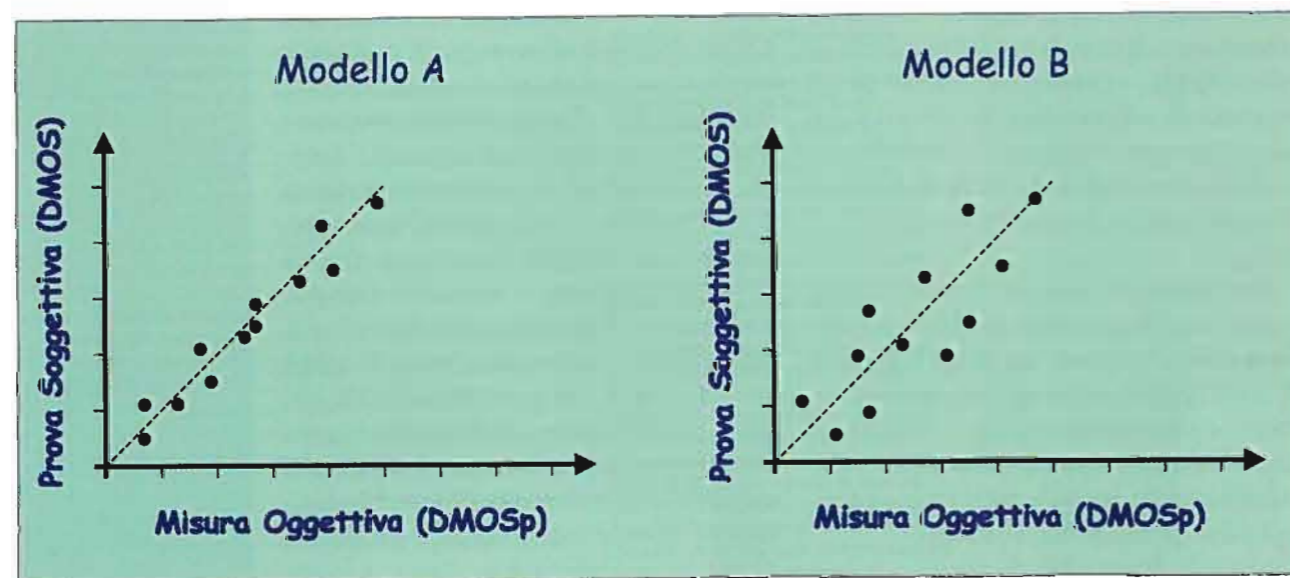



Fig. 2 - Accuratezza del modello.

**"Monotonicità" (Prediction Monotonicity)**: è il criterio che esprime la capacità del modello di fornire una relazione di tipo monotono tra valori soggettivi espressi dagli osservatori e valori oggettivi predetti. In altri termini, ponendo in ordine crescente i valori soggettivi, i valori oggettivi previsti dal modello dovrebbero risultare nello stesso ordine. Facendo riferimento alla figura 3, il modello A fornisce un comportamento di tipo monotono per tutte le predizioni, mentre il modello B commette un errore di monotonicità per le predizioni indicate in figura.
La monotonicità dei modelli è stata valutata utilizzando una metrica (**metrica 3**) basata sul "Coefficiente di Correlazione di Spearman" calcolato tra i valori soggettivi forniti dagli osservatori ed i valori oggettivi predetti dai modelli.

**"Consistenza" (Prediction Consistency)**: è il criterio che esprime l'immunità del modello nei confronti di predizioni completamente errate (Outlier). Per esempio, i due modelli rappresentati in figura 4 forniscono all'incirca le stesse prestazioni in termini di accuratezza, ma mentre il modello A garantisce per tutte le sequenze predizioni affette da un errore limitato, il modello B commette in alcuni casi errori molto evidenti.
La consistenza dei modelli è stata valutata utilizzando il parametro (**metrica 4**)

*Outlier ratio = (numero totale di outlier)/ (numero totale di predizioni)*

dove un *outlier* è definito come una predizione il cui errore assoluto è maggiore di due volte l'errore medio fornito dal modello, cioè:

*ABS [DMOS–DMOSp] > 2* DMOS-StandardError*

Ulteriori informazioni circa le definizioni delle metriche sono disponibili in [3]

### 4. L'obiettivo di VQEG

VQEG è un gruppo di lavoro internazionale formato da esperti provenienti da differenti realtà, accademiche od industriali, ed accomunati da un background legato alla valutazione della qualità delle immagini. Molti dei membri del gruppo sono attivi in gruppi di lavoro ITU, sia del settore T che R, ed è quindi naturale che il primo compito che il gruppo VQEG si è posto sia stato quello di valutare le prestazioni dei modelli oggettivi, al fine di individuarne uno o più le cui prestazioni fossero sufficienti a giustificarne l'inclusione in uno standard ITU. Considerando le limitate risorse a disposizione e lo stato dell'arte, VQEG ha deciso di iniziare il suo lavoro valutando le prestazioni dei modelli "double ended", rimandando l'analisi dei modelli "parametric" o "single ended" ad una fase successiva.

### 5. I modelli sottoposti a test

Sono state 10 le organizzazioni, definite in seguito proponenti, che hanno sottoposto un modello all'analisi di VQEG, ed è evidente come si tratti in realtà di tutte le principali organizzazioni a livello mondiale che svolgono ricerca nel settore, a chiara prova del successo riscosso da VQEG.
I proponenti sono elencati nel seguito insieme ad un cenno minimo relativo ai principi di funzionamento dei rispettivi modelli; la numerazione dei modelli, utilizzata da VQEG nella fase di analisi, viene mantenuta nel seguito.
Una approfondita descrizione dei modelli,

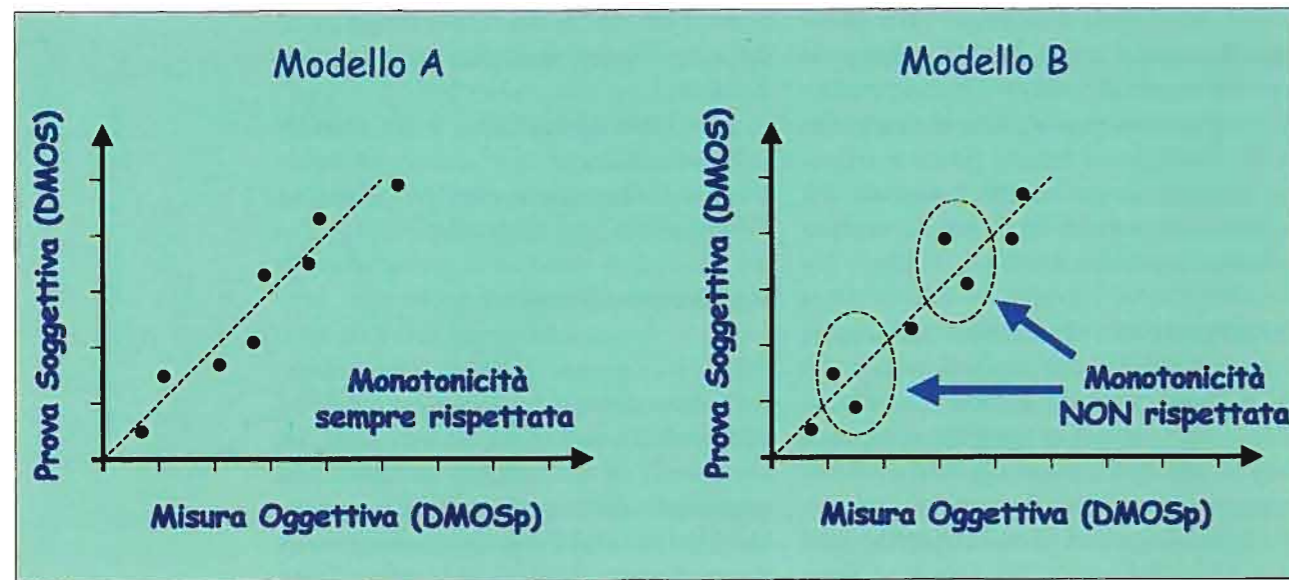



**Fig. 3 - Monotonicità del modello.**

almeno per le parti rese pubbliche dai proponenti, è disponibile sul sito http://www.vqeg.org.

**5.1 [P0] – PSNR**
**Peak Signal to Noise Ratio**

Il rapporto segnale rumore, calcolato secondo la seguente formula, è stato inserito da VQEG nel test in quanto rappresenta il modello "double ended" più semplice possibile, e può quindi essere utilizzato come riferimento per valutare il valore aggiunto fornito dagli altri modelli. È per altro noto che le prestazioni del PSNR, in termini di correlazione con le prove soggettive, risultano in generale insoddisfacenti.

**5.2 [P1] – CPqD Centro de Pesquisa e Desenvolvimento (Brasile)**

Il modello proposto dal CPdQ è basato sulla segmentazione spaziale dell'immagine in zone con differente contenuto spettrale (zone piatte, zone ad alto dettaglio, zone di bordo etc). Su ogni zona vengono calcolati alcuni parametri oggettivi che vengono a loro volta pesati tramite una base dati ottenuta in precedenza tramite prove soggettive. La predizione del modello è quindi calcolata per mezzo di una opportuna funzione che ha in ingresso i parametri pesati.

**5.3 [P2] – Tektronix/Sarnoff (USA)**

Questo modello è basato su un algoritmo che simula i meccanismi della visione uma-

$$PSNR = 10 \log_{10}\left(\frac{255^2}{MSE}\right)$$

$$MSE = \frac{1}{(P2-P1+1)(M2-M1+1)(N2-N1+1)} \sum_{p=P1}^{p=P2} \sum_{m=M1}^{m=M2} \sum_{n=N1}^{n=N2} (d(p,m,n) - o(p,m,n))^2$$

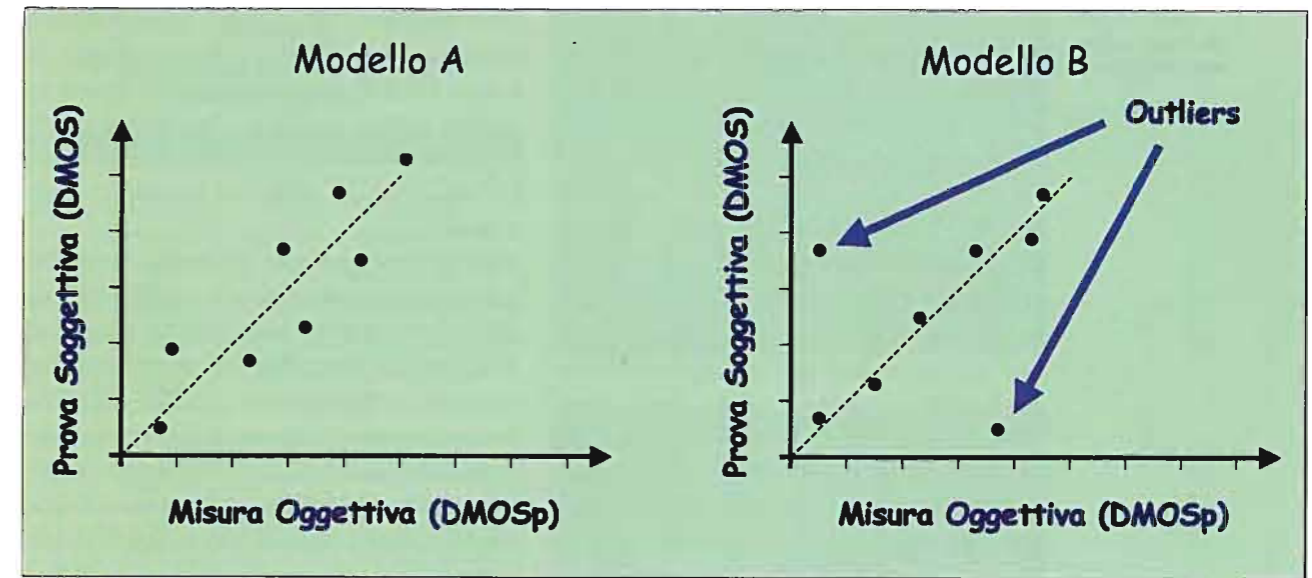
$m,n$ indici spaziali dei *pixel* all'interno del *frame*
$p$ indice temporale del *frame* all'interno della sequenza
$o$ *sequenza originale*
$d$ *sequenza degradata*





**Fig. 4 - Consistenza del modello.**

na relativi alla percezione spazio-temporale ed alla percezione delle differenze.
L'algoritmo fornisce in uscita un valore che rappresenta il degrado secondo una metrica cosiddetta JND (Just Noticeable Difference).

**5.4 [P3] – NHK / Mitsubishi Electric Corporation (Giappone)**

Il modello simula i meccanismi della visione umana utilizzando filtri tridimensionali, le cui caratteristiche variano in funzione del segnale di luminanza in ingresso, applicati all'immagine differenza. Il valore fornito dal modello in uscita viene calcolato come somma pesata delle diverse uscite dei filtri.

**5.5 [P4] – KDD (Giappone)**

Il modello si basa sull'uso di un banco di tre filtri, che simulano diversi aspetti del processo di visione umano, applicati in successione all'immagine differenza.

**5.5 [P4] – KDD (Giappone)**

Il modello simula i meccanismi della visione umana ed è basato sulla successione di quattro processi, applicati in parallelo sia sull'immagine originale che su quella codificata.

**5.6 [P5] – EPFL Ecole Polytechnique Féderal Lausanne (Svizzera)**

Il modello simula i meccanismi della visione umana ed è basato sulla successione di quattro processi, applicati in parallelo sia sull'immagine originale che su quella codificata.

**5.7 [P6] – Progetto Tapestries (Progetto ACTS)**

Il modello è in realtà costituito da due modelli che lavorano in parallelo, fornendo entrambi un valore rappresentativo del degrado della sequenza. Il primo simula le principali funzionalità del processo visivo umano mentre il secondo rileva la presenza di blocchettizzazione e ne misura quindi l'entità. Infine, il modello decide tramite un meccanismo interno, basato sul fatto che la presenza di blocchettizzazione maschera gli altri difetti, quale dei due valori sia più rappresentativo e lo fornisce quindi in uscita.

**5.8 [P7] – NASA National Aeronautics and Space Administration (USA)**

Il modello DVQ (Digital Video Quality) prevede diversi passi di elaborazione dell'immagine originale e di quella degradata al fine di convertirle entrambi in uno spazio colorime-

trico opportuno. Sulle immagini viene quindi applicato l'algoritmo DCT. Tramite opportuni filtri spazio-temporali e legati al mascheramento dovuto al contrasto viene ottenuto il valore rappresentativo del degrado.

### 5.9 [P8] - KPN Royal PPT / Swisscom CT (Olanda / Svizzera)

Il modello PVQM (Perceptual Video Quality Measure) consiste di tre processi applicati separatamente sull'immagine differenza. Il primo è basato sul fatto che la sensibilità spaziale del processo visivo è più alta per la luminanza che per la crominanza e che la sensibilità al contrasto decresce alle alte frequenze.
Il secondo estrae i bordi dell'immagine utilizzando una versione modificata del filtro di Sobel, mentre il terzo modulo calcola l'errore sul segnale di crominanza. Infine, i tre risultati vengono opportunamente pesati ed utilizzati per definire un singolo valore di degrado.

### 5.10 [P9] - NTIA (USA)

Il modello estrae alcuni parametri che misurano fattori di merito, positivi o negativi, dell'immagine. Per esempio, la presenza di bordi verticali, opportunamente misurata, viene interpretata come indice di blocchettizzazione, mentre la diminuzione delle alte frequenze viene interpretata come perdita di definizione (*blurring*). Le differenze riscontrate sui singoli parametri sono quindi pesate tramite opportune funzioni e, quindi, i rispettivi valori di uscita vengono combinati tramite una funzione lineare. Poiché il modello calcola i parametri in modo indipendente sull'immagine originale e su quella degradata è a tutti gli effetti da considerarsi un **modello "parametrico"**.

### 5.11 Institut für Nacührichtentechnik (Germania)

Il modello misura alcuni tipici difetti legati alla codifica di tipo MPEG2, quali la blocchettizzazione, ed è stato appositamente sviluppato per effettuare il monitoraggio in tempo reale di catene trasmissive basate su questo tipo di codifica. L'algoritmo riceve in ingresso solo l'immagine degradata ed è quindi a tutti gli effetti un **modello "single ended"**.
NOTA: il proponente ha fornito a VQEG solo le predizioni relative a quegli HRC (la definizione di HRC sarà chiarita in seguito) che contenevano degradi misurabili dal modello. In conseguenza a questa posizione del proponente, contraria a quanto stabilito in precedenza, VQEG è stato costretto ad eliminare il modello stesso dal processo di analisi, ed i relativi risultati non sono quindi stati inseriti nel rapporto finale di VQEG [4].

## 6. Organizzazione dei test

Il gruppo VQEG, anche in considerazione del pesante valore commerciale che la standardizzazione a livello ITU di un modello soggetto a brevetto può significare, ha cercato, in tutti i modi ragionevoli, di svolgere i test in modo da eliminare dalla procedura sperimentale qualunque elemento che potesse in qualche modo garantire un vantaggio ad uno dei proponenti.
Alla luce di questa esigenza, si è costituito all'interno di VQEG un gruppo di lavoro, denominato ILSC (Independent Labs Selection Committee), deputato a gestire tutte le operazioni in qualche modo sensibili rispetto al criterio di correttezza esposto; ovviamente la partecipazione all'ILSC è stata preclusa ai proponenti. Nel seguito vengono descritti i principali passaggi secondo cui sono stati gestiti i test dal gruppo ILSC.

### 6.1 Selezione delle sequenze

Le 24 sequenze originali (12 nel formato 525/60Hz e 12 in quello a 625/50Hz) sono state selezionate dai membri dell'ILSC. Il processo di selezione è stato eseguito cercando di ottenere un insieme di sequenze rappresentativo di tutte le possibili caratteristiche delle immagini televisive normalmente utilizzate in termini di colorimetria, contenuto di frequenze e tipologia del movimento degli oggetti in esse contenute. La tabella 1 riassume le principali caratteristiche delle 12 sequenze selezionate per il test secondo lo standard 625/50 (si noti come le sequenze 11 e 12 siano state utilizzate solo nella fase di training delle prove soggettive). La figura 5 mostra, a titolo di esempio, tre *frame* (quadri televisivi) selezionati dalle sequenze.

**Tabella 1**
**Sequenze in formato 625/50 utilizzate nel test**

| N. | Sequenza | Caratteristiche principali |
|---|---|---|
| 1 | Tree | Immagine fissa con frequenze spaziali verticali, orizzontali e diagonali |
| 2 | Barcelona | Colori saturi e alte frequenze spaziali |
| 3 | Harp | Colori saturi, movimento di zoom, alte frequenze spaziali (presenza di dettagli) |
| 4 | Moving graphic | Immagine sintetica con zone di colore saturo in movimento, testo e dettagli fini |
| 5 | Canoa Valsesia | Movimenti di oggetti in direzioni differenti, presenza di dettagli |
| 6 | F1 Car | Colori saturi e movimenti di oggetti veloci |
| 7 | Fries | Immagine originata su pellicola, veloci movimenti di camera |
| 8 | Horizontal scrolling 2 | Immagine sintetica con movimento di testi scritti |
| 9 | Rugby | Zone di colore saturo in movimento, veloci movimenti di camera |
| 10 | Mobile&calendar | Zone di colore saturo in movimento lento |
| 11 | Table Tennis | Colori saturi e movimenti di oggetti veloci (training) |
| 12 | Flower garden | Dettagli colorati (training) |

**Fig. 5** - Frame appartenenti alle immagini di test.

### 6.2 Selezione degli HRC

Gli HRC (Hypothetical Reference Circuits[1]), cioè i processi utilizzati per codificare le sequenze originali ed ottenere le sequenze degradate, sono stati fissati da VQEG in assemblea plenaria, ma i parametri di codifica (come per esempio il GoP di alcune codifiche MPEG-2) sono stati scelti in separata sede dall'ILSC. La tabella 2 riassume i 16 HRC utilizzati. Il criterio che ha dettato la scelta degli HRC è stato, nei limiti delle risorse a disposizione, quello di testare i modelli su tutti i tipi di difetti che vengono introdotti dai sistemi di compressione digitali, sia considerati singolarmente sia in associazione con processi analogici. A questo fine, si è scelto di utilizzare HRC che utilizzano algoritmi con bit rate compresi nell'intervallo tra 768 Kbit/s e 50 Mbit/s. Per esempio, l'HRC n. 3 simula un complesso processo di produzione basato su videoregistratori da studio mentre l'HRC n.

Modelli di valutazione oggettiva della qualità video...

**Tabella 2**
**Processi di codifica (HRC) utilizzati nei test**

| N. | A | B | codifica | bit rate [Mb/s] | commenti |
|---|---|---|---|---|---|
| 16 | X | | H.263 | 1.5 | Codifica FORMATO CIF. Visualizzazione a pieno schermo. |
| 15 | X | | H.263 | 0.768 | Codifica FORMATO CIF. Visualizzazione a pieno schermo. |
| 14 | X | | MP@ML | 2 | Sottocampionamento orizzontale a ¾ (540 pixels). |
| 13 | X | | SP@ML | 2 | Sottocampionamento orizzontale a ¾ (540 pixels) |
| 12 | X | | MP@ML | 4,5 | Errori di trasmissione inseriti sul bit stream. |
| 11 | X | | MP@ML | 3 | Errori di trasmissione inseriti sul bit stream. |
| 10 | X | | MP@ML | 4,5 | |
| 9 | X | X | MP@ML | 3 | |
| 8 | X | X | PAL +<br>MP@ML | --<br>4,5 | Co-decodifica PAL seguita da co-decodifica MPEG. |
| 7 | | X | MP@ML | 6 | |
| 6 | | X | PAL +<br>MP@ML | --<br>8 | Co-decodifica PAL seguita da co-decodifica MPEG. |
| 5 | | X | MP@ML +<br>MP@ML | 8<br>4,5 | Concatenazione di codec. |
| 4 | | X | 422P@ML +<br>PAL +<br>422P@ML +<br>PAL +<br>422P@ML | 19<br>--<br>19<br>--<br>12 | Tre co-decodifiche MPEG intercalate da co-decodifiche PAL. |
| 3 | | X | 422P@ML +<br>+...+<br>422P@ML | 50<br>50<br>50 | Sette codifiche MPEG intercalate da processing (shift spaziale) dell'immagine. |
| 2 | | X | 422P@ML +<br>422P@ML +<br>422P@ML | 19<br>19<br>12 | Tre co-decodifiche MPEG. |
| 1 | | X | BetacamSP +<br>+...+<br>BetacamSP | -- | Cinque registrazioni su nastro BetacamSP (componenti analogici). |

NOTA:
Per le sequenze in formato 525/60, le codifiche PAL sono state sostituite con codifiche NTSC.

2 può essere considerato rappresentativo di una rete di contributo e distribuzione. Gli HRC n. 11 e n. 12 introducono errori di trasmissione sul bit stream.
Gli HRC sono quindi stati divisi, in base a considerazioni di tipo empirico, in due gruppi, denominati (vedi tabella 2) rispettivamente Low Quality (Gruppo A) e High Quality (Gruppo B).
Gli HRC n. 8 e n. 9 appartengono ad entrambi i gruppi e l'utilità di questa sovrapposizione sarà chiarita in seguito.

### 6.3 Elaborazione delle sequenze

Come già ricordato, i modelli *double ended* sono per loro natura basati sulla elaborazione della immagine differenza. Ne consegue che un requisito fondamentale per tutti questi modelli è che l'immagine originale e quella degradata, su cui viene calcolata la differenza, siano tra loro co-posizionate sia nello spazio (*pixel* per *pixel*) che nel tempo (*frame* per *frame*). In altri termini, è indispensabile che l'immagine differenza venga calcolata eseguendo la sottrazione tra *pixel* e quadri coerenti.
Poiché non è improbabile che i processi di elaborazione delle immagini coinvolti nei diversi HRC, sia digitali che analogici, possano introdurre degli sfasamenti tra l'immagine originale e quella degradata, si è stabilita una procedura per riallineare le due sequenze. A questo fine, è stato inserito sulle sequenze originali, come evidenziato in figura 6, un particolare segnale di test, definito *stripe*[2].
Le 20 sequenze originali munite di *stripe*

**Fig. 6 - Esempio frame su cui è stata inserita la stripe.**

sono state quindi elaborate, secondo i 16 HRC definiti ottenendo di conseguenza 320 sequenze degradate.
Confrontando le *stripe* dell'immagine originale e di quella codificata è possibile rilevare, e quindi compensare, eventuali sfasamenti tra le immagini. Ovviamente le *stripe* sono state inserite in porzioni della sequenza precedenti e seguenti a quella utilizzata per le prove soggettive. Utilizzando la stessa *stripe* sono stati compensati eventuali variazioni di livello (guadagno ed offset) dei segnali di luminanza e crominanza dovuti ai processi HRC.

### 6.4 Calcolo delle predizioni

Le sequenze di test originali e degradate sono state quindi distribuite a tutti i proponenti affinché restituissero all'ILSC i valori di predizione dei rispettivi modelli. Al fine di garantire la totale trasparenza della procedura sono state attuate le seguenti precauzioni:

- Le sequenze di test, originali e degradate, sono state fornite ai proponenti solo a valle della consegna all'ILSC di una copia eseguibile del software del modello stesso. In questo modo si è esclusa la possibilità per i proponenti di tarare i propri modelli in funzione delle sequenze originali e del tipo di difetto introdotto dalla codifica.

- I valori delle predizioni sono state calcolate e fornite all'ILSC dai rispettivi proponenti, ma l'ILSC, attraverso alcuni laboratori, ha avuto la responsabilità di ripetere il calcolo, utilizzando il software eseguibile, su di un sottoinsieme costituito da 16 sequenze degradate e di verificare che i risultati forniti dai proponenti non differissero per più dello 0,1%. Questa procedura ha garantito che per dolo o per errore il modello non potesse essere modificato durante i test. Il ruolo di laboratorio indipendente è stato assunto dalle seguenti organizzazioni: Communications Research Centre (Canada); Institut für Rundfunktechnik (Germania); National Institute of Standard and Technology (USA); Fondazione Ugo Bordoni (Italia)

### 6.5 Prove soggettive

Vista la dimensione del test (20 sequenze e 16 HRC) si è deciso di dividere le prove soggettive in quattro gruppi, definiti in seguito "quadranti", considerando il livello di qualità associato agli HRC e lo standard delle sequenze originali. I quadranti corrispondono quindi a:

- 50 Hz – Low Quality
- 50 Hz – High Quality
- 60 Hz – Low Quality
- 60 Hz – High Quality.

Il motivo per cui si è deciso di definire i quadranti mantenendo separati i livelli di qualità degli HRC deriva dal fatto che alcuni membri di VQEG manifestarono il dubbio che, mescolando degradi di entità molto diversa, i dati delle prove soggettive sarebbero potuti risultare affetti dal cosiddetto "effetto contesto".
L'effetto contesto è relativo al fatto che un osservatore, chiamato ad esprimere un voto, è in generale portato ad utilizzare un metro di giudizio influenzato dai valori massimi e minimi di qualità che gli vengono proposti durante la prova. Nel caso specifico, il timore era che le sequenze il cui degrado era poco percettibile sarebbero state giudicate, se inserite in una prova che comprendeva sequenze molto degradate, in modo molto meno severo rispetto a quanto lo sarebbero state se inserite in una prova comprendente solo sequenze poco degradate.
I quadranti, per come sono definiti, minimizzano l'influenza dell'effetto contesto. La sovrapposizione dei quadranti (HRC n. 8 e n. 9) garantisce inoltre la possibilità di

**Tabella 3**
**Laboratori in cui si sono svolte le prove soggettive**

| N. | Laboratorio | Sequenze a 50 Hz | Sequenze a 60 Hz |
|---|---|---|---|
| 1 | CSELT (Italia) | X | |
| 2 | NHK (Giappone) | | X |
| 3 | BERKOM (Germania) | | X |
| 4 | CCETT (Francia) | X | |
| 5 | CRC (Canada) | | X |
| 6 | RAI (Italia) | X | |
| 7 | FUB (Italia) | | X |
| 8 | DCITA (Australia) | X | |

svolgere a posteriori un'analisi statistica per verificare l'entità dell'eventuale effetto contesto residuo.
Per ognuno dei quadranti, sono state quindi condotte prove soggettive in accordo alla metodologia Double Stimulus Continuous Quality Scale (Appendice), utilizzando gruppi di osservatori diversi per i diversi quadranti. La scelta di questa metodologia è risultata ovvia considerando che, oltre ad essere quella che garantisce i migliori risultati in termini di affidabilità e ripetitività delle prove, è anche quella che più si avvicina alla logica dei modelli oggettivi *double ended*, in quanto anch'essa basata sul confronto, seppure secondo un paradigma diverso, dell'immagine originale e di quella degradata.
VQEG ha messo in atto tutte le procedure ragionevoli per garantire che le prove soggettive fossero svolte dai diversi laboratori secondo un protocollo comune. Tutti i laboratori, riportati in tabella 3, sono stati tenuti a garantire che gli apparati (monitor, impianti di distribuzione, impianti di illuminazione etc.) utilizzati nell'esperimento assicurassero un livello elevato di prestazioni [3]. I risultati delle misure eseguiti a questo scopo sono disponibili in [4].
I dati ottenuti dalle prove soggettive sono stati quindi sottoposti ad un processo di post-screening, finalizzato ad eliminare i voti degli osservatori i cui giudizi, in base ai criteri previsti nella Racc. 500 [1], risultassero instabili o in completo contrasto con i valori medi espressi dagli altri osservatori. La procedura di post-screening è stata eseguita considerando separatamente i voti appartenenti ai quattro quadranti ed a seguito di questa procedura sono stati eliminati i voti di 10 osservatori, portando così il numero totale di osservatori utili a 287, così suddivisi:

- 50Hz / low quality: 70 osservatori
- 50Hz / high quality: 70 osservatori
- 60Hz / low quality: 80 osservatori
- 60Hz / high quality: 67 osservatori

Il numero degli osservatori e le procedure seguite al fine di garantire la precisione dello svolgimento del test hanno reso il lavoro di VQEG una delle più importanti campagne di misure svolte da quando vengono effettuate le prove soggettive.

## 7. Risultati

Ottenuti i dati soggettivi (DMOS) e le predizioni dei singoli modelli (DMOSp), è iniziata per VQEG una lunga opera di analisi. Una prima fase ha analizzato, tramite una estesa indagine statistica, tutti gli aspetti legati alla correttezza formale dello svolgimento delle prove soggettive.
I principali risultati possono essere riassunti nelle seguenti affermazioni:

*Le analisi statistiche svolte sugli HRC n. 8 e n. 9, ripetuti nei due quadranti High e Low Quality, dimostrano la non presenza di effetto contesto.*

*La correlazione dei dati soggettivi forniti da differenti laboratori risulta elevata (tabelle 4 e 5), a garanzia di un corretto uso del protocollo sperimentale.*

Le evidenze sperimentali che giustificano queste conclusioni sono disponibili in [4].
L'esito positivo della prima fase ha quindi consentito di proseguire con la seconda fase di analisi, investigando a fondo le prestazioni dei modelli.
L'analisi di VQEG ha considerato sia immagini a 50Hz sia a 60Hz. Nel seguito vengono riportati principalmente i risultati dei test eseguiti sulle immagini a 50Hz, che si suppongono di interesse maggiore nell'ambito europeo. Tutti i risultati sono comunque disponibili in [4].
Nell'analisi dei dati, occorre comunque sottolineare che, poiché i quattro diversi quadranti sono stati oggetto di prove soggettive diverse svolte da gruppi di osservatori diversi non è corretto, da un punto di vista statistico, unirne i risultati per valutare le prestazioni dei modelli oggettivi. Quindi, VQEG ha svolto tutte le analisi relative alle metriche esposte, e di conseguenza tratto le proprie conclusioni, separatamente sui quattro quadranti. I risultati che riportano i risultati relativi a tutti i quattro quadranti vengono mostrati a titolo informativo.

**Tabella 4**
**Correlazione tra laboratori per il quadrante 50 Hz - Low Quality**

| Laboratorio | CSELT | CCETT | RAI | DCITA |
|---|---|---|---|---|
| CSELT | 1,000 | 0,942 | 0,946 | 0,950 |
| CCETT | 0,942 | 1,000 | 0,956 | 0,945 |
| RAI | 0,946 | 0,956 | 1,000 | 0,948 |
| DCITA | 0,950 | 0,945 | 0,948 | 1,000 |

**Tabella 5**
**Correlazione tra laboratori per il quadrante 50 Hz - High Quality**

| Laboratorio | CSELT | CCETT | RAI | DCITA |
|---|---|---|---|---|
| CSELT | 1,000 | 0,882 | 0,892 | 0,909 |
| CCETT | 0,882 | 1,000 | 0,882 | 0,851 |
| RAI | 0,892 | 0,882 | 1,000 | 0,876 |
| DCITA | 0,909 | 0,851 | 0,876 | 1,000 |

### 7.1 Diagrammi a dispersione

Una prima immediata valutazione delle prestazioni dei modelli oggettivi può essere ricavata dall'analisi visiva dei diagrammi a dispersione riportati nelle figure 7 ed 8.
Poiché ogni modello utilizza una metrica proprietaria per definire i valori oggettivi, gli assi delle ascisse relativi ai grafici dei diversi modelli sono tarati secondo scale differenti, mentre gli assi delle ordinate, che riportano i dati soggettivi, sono ovviamente coerenti in tutti i grafici.

Fig. 7 - Diagrammi a dispersione per il quadrante 50Hz - Low Quality.

### 7.2 Metrica 2

I coefficienti di correlazione di Pearson (ed i rispettivi intervalli di confidenza al 95%) calcolati utilizzando una base dati formata da tutti i dati soggettivi o dai quadranti 50Hz/Low Quality e 50Hz/High Quality sono riportati rispettivamente nelle figure 9, 10 e 11. I risultati sono stati ottenuti

**Fig. 8** - Diagrammi a dispersione per il quadrante 50 Hz - High Quality.

**Fig. 9** - Metrica 2 - Risultati calcolati in basesi dati dei quattro quadranti.

**Fig. 10** - Metrica 2 - Risultati relativi al quadrante 50 Hz/ Low Quality.

**Fig. 11** - Metrica 2 - Risultati relativi al quadrante 50 Hz/ High Quality.

8

9

10

11

secondo la procedura riportata in dettaglio in [4]. Ricordando che la metrica 2 è indice dell'accuratezza del modello, VQEG ha tratto la seguente conclusione relativa alle prestazioni dei modelli stessi:

*I risultati del modello P6 sono statisticamente inferiori rispetto a quelle degli altri modelli, mentre le prestazioni dei modelli P0, P1, P2, P3, P4, P5, P7, P8 e P9 sono statisticamente equivalenti.*

### 7.3 Metrica 3

I coefficienti di correlazione di Spearman (ed i rispettivi intervalli di confidenza al 95%) calcolati utilizzando una base dati formata da tutti i dati soggettivi o dai quadranti 50Hz/Low Quality e 50Hz/High Quality sono riportati rispettivamente nelle figure 12, 13 e 14. Ricordando che la metrica 3 è indice della monotonicità del modello, VQEG ha tratto la seguente conclusione relativa alle prestazioni dei modelli stessi:

*I risultati del modello P6 sono statisticamente inferiori rispetto a quelle degli altri modelli, mentre le prestazioni dei modelli P0, P1, P2, P3, P4, P5, P7, P8 e P9 sono statisticamente equivalenti.*

### 7.4 Analisi su sottoinsiemi di HRC

I valori del parametro *Outlier Ratio*, relativi alla metrica 4 che misura la "Consistency" del modello, sono riportati in figura 15. L'analisi dei risultati ha portato VQEG a concludere che:

Le prestazioni del modello P6 e del modello P9 sono statisticamente inferiori rispetto a quelle del modello P8 ma sono statisticamente equivalenti a quelle dei modelli P0, P1, P2, P3, P4, P5 e P7.





**Fig. 12** - Metrica 3 - Risultati calcolati in basesi dati dei quattro quadranti.

**Fig. 13** - Metrica 3 - Risultati relativi al quadrante 50 Hz/ Low Quality.

**Fig. 14** - Metrica 3 - Risultati relativi al quadrante 50 Hz/ High Quality.

**Fig. 15** - Metrica 4 - Risultati.

12

13

14

15

Le prestazioni del modello P8 sono statisticamente equivalenti a quelle dei modelli P0, P1, P2, P3, P4, P5 e P7.

L'apparente incoerenza delle due affermazioni è risolta ricordando che per il concetto di "equivalenza statistica" non valgono le proprietà transitive "classiche", per cui è corretto affermare che, per esempio, le prestazioni di P6 sono inferiori a quelle di P8 ed equivalenti a quelle di P5 ma anche, contemporaneamente, che P8 e P5 sono a loro volta equivalenti.

### 7.5 Analisi su sottoinsiemi di HRC

I risultati assai poco soddisfacenti riportati fino ad ora sono stati ottenuti valutando le prestazioni dei modelli sull'intero insieme degli HRC. È viceversa lecito chiedersi se alcuni modelli potrebbero avere delle prestazioni più soddisfacenti qualora l'analisi fosse ristretta ad un particolare tipo di HRC. Sarebbe per esempio evidente il valore di un modello in grado di fornire previsioni affidabili per tutti gli HRC basati su codifiche di tipo MPEG-2.

Al fine di investigare questo aspetto delle prestazioni dei modelli, VQEG ha identificato dei sottoinsiemi di HRC su cui sono state ripetute le analisi viste nei paragrafi precedenti.

La tabella 6 riporta i gruppi identificati e su cui sono state analizzate le prestazioni dei modelli. (I nomi definiti da VQEG si riferiscono agli HRC che sono stati esclusi e non a quelli selezionati; ad esempio, il sottoinsieme "te – transmission error" indica l'insieme ottenuto eliminando gli HRC n. 11 e n. 12, relativi appunto agli errori di trasmissione, e non l'insieme formato solo dagli stessi).

Questa ulteriore analisi, sebbene abbia evidenziato alcune peculiarità dei singoli modelli riportate in [4], non ha comunque modificato il giudizio complessivo sulle prestazioni dei modelli.

**Tabella 6**
**Sottoinsiemi di HRC**

| Nome | HRC Esclusi |
|---|---|
| None | Nessun HRC escluso |
| h263 | 15, 16 |
| Te | 11, 12 |
| Beta | 1 |
| Beta + te | 1, 11, 12 |
| h263 + beta + te | 1, 11, 12, 15, 16 |
| Notmpeg | 1, 3, 4, 6, 8, 13, 14, 15, 16 |
| Analog | 1, 4, 6, 8 |
| Transparent | 2, 7 |
| Nottrans | 1, 3 |

### 8. Conclusioni

Il lavoro svolto da VQEG rappresenta senza dubbio il test più sofisticato mai eseguito per valutare, in modo quanto più possibile corretto, le reali prestazioni dei modelli oggettivi per la valutazione della qualità video. I risultati, al di là dei margini di interpretazione che comunque occorre accettare nel momento in cui si entra nel difficile mondo della statistica, dimostrano che **le prestazioni dei sei o sette modelli migliori sono statisticamente equivalenti a quelle del rapporto segnale rumore** e che dunque non sussistono gli estremi per una loro inclusione in una Racc. ITU.

In particolare, il gruppo VQEG ha così riassunto le principali conclusioni:

- *Nessuno dei modelli oggettivi proposti è in grado di fornire prestazioni paragonabili a quelle delle prove soggettive e quindi di sostituirle.*
- *Considerando tutte le metriche e l'analisi statistica nel suo complesso, nessuno dei modelli fornisce prestazioni migliori degli altri.*
- *Sebbene alcuni modelli garantiscano prestazioni migliori se applicati su sottoinsiemi di HRC, allo stato attuale non sussistono i presupposti per una loro inclusione in uno standard ITU.*
- *Il lavoro svolto ha consentito comunque di migliorare lo stato dell'arte dei modelli oggettivi.*
- *L'insieme delle sequenze originali e degradate e dei dati soggettivi associati, rappresentano un patrimonio su cui potranno essere basati i futuri studi per migliorare le prestazioni dei modelli oggettivi.*

Il rapporto finale di VQEG [4] riporta i commenti dei risultati dei test espressi da tutti i proponenti. Paradossalmente, i commenti sono incentrati sul fatto che i modelli garantiscono comunque prestazioni accettabili su alcuni sottoinsiemi di HRC e che i modelli sono stati nel frattempo migliorati. Per correttezza occorre infine riportare che i proponenti KDD-[P4] e Tapestries-[P6] hanno dichiarato di aver riscontrato nei loro modelli alcuni problemi tecnici di facile soluzione, di cui si sono assunti la responsabilità, solo dopo aver consegnato il software eseguibile all'ILSC.

### Bibliografia


1 – ITU-R, Recommendation BT.500-8, *Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures*, September 1998.

2 – P.Corriveau and A. Webster, *VQEG evaluation of objective methods of video quality assessments*, SMPTE Journal 108, pp.645-648, 1999]

3 – ITU-T Study Group 12, Contribution COM 12-60, *Evaluation of new methods for objective testing of video quality: objective test plan*, September 1998; ITU-R Joint Working Party 10-11Q, Contribution R10-11Q/010, *Evaluation of new methods for objective testing of video quality: objective test plan*, October 1998.
Disponibile in
ftp://ftp.its.bldrdoc.gov/dist/ituvidq/subj_test_plan_final.rtf

4 – A.M. Rohaly, J. Libert, P. Corriveau and A, Webster (eds.), *Final report from the Video Quality Expert Group on the validation of objective models of video quality assessment*, 2000.
Disponibile in ftp://ftp.crc.ca/crc/vqeg

5 – ITU-T Study Group 12, Contribution COM 12-67, *VQEG subjective test plan*, September 1998; ITU-R Joint Working Party 10-11Q, Contribution R10-11Q/026, *VQEG subjective test plan*, May 1999.
Disponibile in
ftp://ftp.its.bldrdoc.gov/dist/ituvidq/obj_test_plan_final.rtf


### Note

(1) Il termine HRC è normalmente usato in ambito ITU-T per definire un collegamento. Nel caso di VQEG definisce un processo di elaborazione dell'immagine.

(2) La *stripe* è stata fornita dalla Tektronix [3]. Secondo alcuni membri di VQEG il processo di ri-allineamento delle sequenze avrebbe dovuto essere svolto da ogni singolo modello. Tuttavia, poiché la maggioranza dei modelli non prevedevano questa funzionalità, che nulla aggiunge al loro valore intrinseco in quanto si tratta di un banale procedimento matematico, si è concordato che l'allineamento fosse garantito a priori da VQEG.



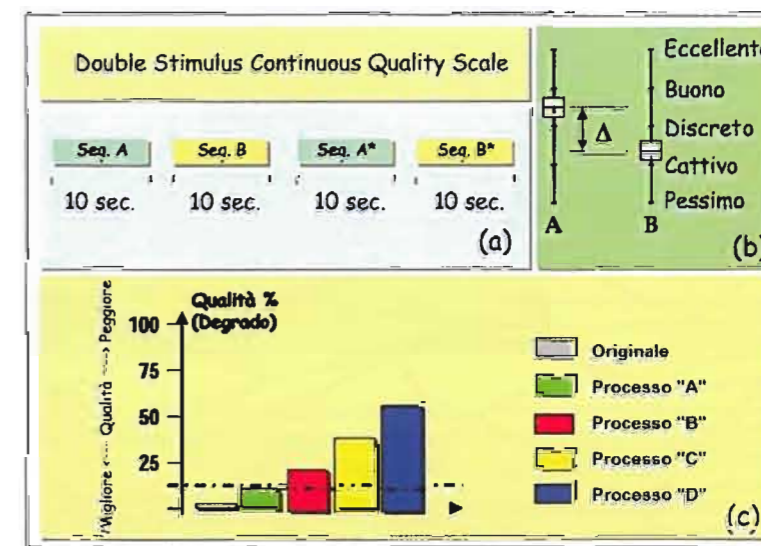


## Appendice

Le prove soggettive sono state condotte secondo il metodo DSCQS (Double Stimulus Continuous Quality Scale) definito dalla Racc. ITU-R BT 500-8 [1], utilizzando una distanza di visione pari a 5H (la distanza di visione è la distanza che separa l'osservatore dallo schermo su cui viene visualizzata l'immagine, e viene comunemente misurata in multipli dell'altezza H dello schermo stesso).

Tale metodo, il cui schema di principio è riassunto in Fig. 16-a, consiste nel presentare all'osservatore una "cella" formata da due versioni (A e B) della stessa sequenza dove una versione può essere stata codificata con uno degli HRC (*sequenza degradata*), mentre l'altra versione non è stata soggetta ad alcun processo (*sequenza originale*). Al fine di consentire all'osservatore di consolidare la propria opinione le immagini vengono nuovamente proposte, quindi le immagini A* e B* sono ripetizioni identiche dell'immagine A e B. L'osservatore viene istruito circa il fatto che le sequenze si ripetono nell'ordine A-B-A*-B*, ma non viene informato su quale delle due versioni della sequenza in esame sia stata eventualmente sottoposta al processo di codifica, ed il test viene definito "blind".
Compito dell'osservatore è quello di valutare la qualità delle immagini A e B, posizionando un cursore su di una apposita scala graduata su cui sono inseriti gli aggettivi riportati in Fig. 16-b. Gli aggettivi forniscono un riferimento, ma la scala di giudizio è suddivisa su 100 livelli significativi, e quindi si può di fatto ritenere continua.

Questo metodo è tra i più diffusi ed accettati e, consentendo all'osservatore di analizzare due volte l'immagine originale e processata, permette di valutare degradi introdotti dai sistemi di codifica appena oltre la soglia di visibilità.
I valori espressi vengono elaborati al fine di misurare non il valore assoluto di qualità espresso per la singola sequenza, ma la differenza tra i due valori, che indica ovviamente il degrado introdotto dal processo. In questo modo se le sequenze sono giudicate identiche dall'osservatore si ottiene un valore nullo indipendentemente dal valore assoluto attribuito alle sequenze.
I risultati vengono presentati sotto forma di istogrammi (o tabelle) dei valori differenza, e tanto maggiore risulta il valore associato al processo tanto maggiore sarà il degrado; la fig. 16-c riporta un esempio di risultati DSCQS, dove il processo "A" introduce un degrado inferiore rispetto al processo "B", che a sua volta incide meno del processo "C" sulla qualità dell'immagine.

Fig. 16 - Metodo di valutazione DSCQS.

## n°1 2000

- **Il nuovo Standard DVB per il DSNG ed altri collegamenti di contributo via satellite**
  di V. Mignone, A Morello
- **Catalogo multimediale: l'esperienza RAI**
  di R. Del Pero, G. Dimino, M. Stroppiana
- **Sistema d'acquisizione dei programmi TV per il catalogo multimediale RAI**
  di L. Boch
- **Brevi note sull'alimentazione di sistemi radiotelevisivi mobili**
  di M. La Rosa

## n°2 2000

- **Tecniche di marchiatura elettronica per la protezione dei diritti di proprietà intellettuale**
  di A. Piva, R. Caldelli
- **Marchiatura elettronica e le applicazioni in ambito televisivo**
  di M. Barbero, N. Shpuza
- **Melevisione: dalla TV al web**
  di M. Muratori
- **Il sito web "Opere del Novecento italiano"**
  di M. Muratori
- **Un "mezzo" mobile per riprese radiofoniche**
  di E. D'Eliso
- **Una nuova soluzione per la distribuzione dei segnali DVB negli impianti centralizzati d'antenna**
  di M. Cominetti, A Paolo, V. Sardella

Rai Eri